

**DISEÑO DE ESTRATEGIA PARA EXTENDER LA VIDA ÚTIL DE  
LAS LLANTAS DE LOS CAMIONES MINEROS 777G EN CERRO  
MATOSO**

**ING. ALEXANDER OVIEDO SERRANO**

**ING. ERNESTO JOSE DONADO MERCADO**

**UNIVERSIDAD DEL NORTE.  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ADMINISTRATIVA  
BARRANQUILLA  
NOVIEMBRE DE 2016**

**DISEÑO DE ESTRATEGIA PARA EXTENDER LA VIDA ÚTIL DE  
LAS LLANTAS DE LOS CAMIONES MINEROS 777G EN CERRO  
MATOSO**

**ING. ALEXANDER OVIEDO SERRANO**

**ING. ERNESTO JOSE DONADO MERCADO**

**DIRECTOR DE PROYECTO:**

**OSCAR OVIEDO TRESPALACIOS. PhD. (C)**

**UNIVERSIDAD DEL NORTE.  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ADMINISTRATIVA  
BARRANQUILLA  
NOVIEMBRE DE 2016**

### **Declaración de autoría**

El informe del proyecto que figura en este documento no ha sido presentado previamente para optar por un título o diploma en esta o en cualquier otra institución de educación superior. Es resultado del conocimiento y creencia de los autores y no contiene ningún material publicado o escrito por otra persona excepto donde previamente se hace la debida referencia.

## **Dedicatoria**

A mi familia por su apoyo incondicional  
y comprensión durante este proyecto de mi vida.

*Alexander Oviedo Serrano*

A mi familia por su apoyo incondicional.

*Ernesto José Donado Mercado*

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UNIVERSIDAD DEL NORTE y a su excelente grupo de profesores por darnos la oportunidad de cursar esta maestría por fuera del campus y compartir con nosotros sus invaluable conocimientos y experiencias.

A todos nuestros compañeros y amigos de la MAESTRÍA EN INGENIERÍA ADMINISTRATIVA que hicieron posible con su entusiasmo y dedicación la realización de este gran proyecto de crecimiento profesional y personal.

Al grupo humano de la Facultad de Ingeniería Industrial por todo su apoyo y el acompañamiento brindado durante el curso de la maestría.

## Tabla de Contenidos

DISEÑO DE ESTRATEGIA PARA EXTENDER LA VIDA ÚTIL DE LAS LLANTAS DE LOS CAMIONES MINEROS 777G EN CERRO MATOSO Resumen .....	1
Capítulo 1 Presentación del Proyecto .....	3
Introducción .....	3
Planteamiento del problema.....	5
Objetivos .....	9
Objetivo General .....	9
Objetivos Específicos.....	9
Metodología .....	10
Alcances y Limitaciones .....	12
Capítulo 2 Marco de referencia (Revisión Documental) .....	13
Marco Conceptual .....	13
Conceptos Claves.....	13
Glosario de términos .....	14
Marco Teórico.....	17
Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF).....	22
Tipos de mantenimientos .....	26
Fallas más comunes en los neumáticos.....	29
Diagrama de Ishikawa.....	34
Coeficiente de correlación múltiple .....	35
Regresión lineal múltiple .....	36
Capítulo 3 Desarrollo de la metodología .....	37
Introducción .....	37
Recolección de datos.....	40
Lluvia de ideas .....	40
Encuesta a mantenedores y operadores.....	42
Observación de tarea.....	44
Recolección de datos en OperTrack .....	48
Diagrama de Ishikawa.....	53
Selección de variables para estudio .....	54
Tratamiento estadístico .....	60
Coeficiente de correlación .....	61
Regresión Lineal Múltiple .....	63
Proyección de durabilidad.....	69
Calculo de los sobrecostos asociados a los cambios prematuros de la llantas.....	71
Diseño de la estrategia .....	72
Capítulo 4 Discusión de resultados.....	81
Capítulo 5 Conclusiones y recomendaciones .....	86
Bibliografía .....	90
Anexos .....	92
Apéndice A .....	93
Apéndice B.....	94

Apéndice C.....	95
Apéndice D .....	96

### Lista de tablas

Tabla 1. Promedio vida útil llantas camión 777G.....	6
Tabla 2. Comparativo características en llantas Michelin para Dumpers Rígidos .....	19
Tabla 3. Tabulación respuestas encuesta a operadores .....	43
Tabla 4. Análisis de coeficiente de correlación de 3 variables .....	61
Tabla 5. Resumen estadísticas de la regresión con la variable Horas de Operación como dependiente .....	64
Tabla 6. Analisis de varianza con la variable Horas de Operación como dependiente ....	64
Tabla 7. Resumen estadísticas de la regresión con la variable Presión de las llantas como dependiente .....	66
Tabla 8. Analisis de varianza con la variable Presión de las llantas como dependiente...	66
Tabla 9. Tasa de consumo de varios modelos de llantas .....	69
Tabla 10. Procedimiento para la inspección de llantas .....	74
Tabla 11. Formato de creación de planes de mantenimiento. Operación RUT Mech Insp Tire Truck 777 .....	76
Tabla 12. Formato de creación de planes de mantenimiento. Operación 1SM RUT Mech Insp Tire Truck 777 .....	78



## Lista de figuras

Figura 1. Configuración llantas en Cerro Matoso.....	5
Figura 2. Corte transversal llanta Michelin.....	18
Figura 3. Perdidas de Rendimiento Debidas al Inflado Insuficiente o Sobreinflado (%). 21	
Figura 4. Esquema de la metodología utilizada.....	39
Figura 5. Revisión de bitácora del camión.....	45
Figura 6. Revisión nivel aceite hidráulico .....	46
Figura 7. Revisión nivel aceite tren trasero .....	46
Figura 8. Revisión de las llantas .....	46
Figura 9. Revisión de wiggins combustible.....	47
Figura 10. Revisión nivel de aceite de motor .....	47
Figura 11. Fechas de inspección camión M3-33 .....	49
Figura 12. Historial de datos para la llanta UCK0160M6A en un período .....	50
Figura 13. Historial de datos en Excel para la llanta UCK0160M6A en un período.....	50
Figura 14. Informe llantas en el camión M3-33 en un día específico.....	51
Figura 15. Ubicación de las llantas en el camión M3-34.....	51
Figura 16. Código de colores para la profundidad restante de la banda de rodado .....	52
Figura 17. Diagrama de Ishikawa para la disminución de la vida útil de las llantas mineras.....	54
Figura 18. Grafica de dispersión Horas de operación Vs Presión de la llanta.....	65
Figura 19. Gráfica de dispersión Horas de Operación Vs Banda de rodamiento .....	65
Figura 20. Gráfica de dispersión Presión Llantas Vs Horas de operación.....	67
Figura 21. Proyección de rendimiento para varios modelos de llantas.....	70
Figura 21. Procedimiento PMIMM637 – Mantenimiento Preventivo Mecánico Camiones CAT.....	75
Figura 22. Formato para inspección de llantas .....	78
Figura 23. Sticker para bitácoras. Inspección de llantas .....	80

## **DISEÑO DE ESTRATEGIA PARA EXTENDER LA VIDA ÚTIL DE LAS LLANTAS DE LOS CAMIONES MINEROS 777G EN CERRO MATOSO**

### **Resumen**

En este proyecto se presenta un plan o estrategia de mantenimiento para extender la vida útil de las llantas de los camiones mineros 777G de Caterpillar usados actualmente en la mina a cielo abierto de Ferro-Níquel de Cerro Matoso ubicada en el municipio de Montelíbano de Córdoba en Colombia.

Para el diseño de la estrategia se identificaron las causas más influyentes para la reducción de la vida útil de las llantas mediante un análisis de diagrama de Ishikawa a través del método de las 6M dada su facilidad para la interpretación, se realizaron encuestas y observaciones de tarea a los mantenedores de los camiones para identificar deficiencias y/o debilidades en los procedimientos actuales de mantenimiento de las llantas mineras, de donde se identificaron cuatro causas relevantes o de énfasis que son la falta de alineación, demoras en la rotación, calibración de la presión e inspecciones rutinarias a objetos extraños en las llantas mineras. Mediante un análisis estadístico de los datos tomados del software OperTrack de un grupo representativo de llantas mineras en Cerro Matoso se encontró una alta correlación entre la presión de inflado y como está influye drásticamente en la vida útil de las llantas.

El diseño de la estrategia contempla un plan de mantenimiento de las llantas de los camiones CAT 777G que consiste en modificar las rutinas preventivas existentes

adicionándoles tareas de inspección y prevención que nos ayudaran prolongar el promedio de vida útil actual de las llantas. Adicional al mantenimiento preventivo es necesario implementar otras actividades de monitoreo para hacerle seguimiento al desgaste de las llantas.

*Palabras claves: alineación, falta de alineación, rotación, sobreinflado, falta de inflado, inspección, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo.*

## **Capítulo 1 Presentación del Proyecto**

### **Introducción**

Para la extracción de ferroníquel en Cerro Matoso S.A la línea de producción inicia en la explotación y cargue de rocas con mineral para lo que se utiliza maquinaria pesada como palas, camiones, tractores, cargadores y motoniveladoras. Para el cargue y acarreo se utilizan las palas, los cargadores y los camiones, el resto de equipos son de soporte, encargados de mantener las vías y adecuar los sitios de cargue y botaderos. Para los equipos de cargue y acarreo el buen funcionamiento de todas sus partes garantizan una operación continua y segura lo que se traduce en ahorros para la empresa y una mejor planeación de todos los trabajos. Una de estas partes vitales de los camiones son las llantas que son las que le proporcionan a los camiones y cargadores el soporte necesario para sostener el peso que cargan y para una movilización segura durante su trayecto.

Las llantas actualmente representan dentro del presupuesto que se asignan a estos equipos uno de los ítems más representativos debido a su alto costo y su alto consumo por lo que se decide diseñar una estrategia encaminada a extender la vida útil de las llantas.

Actualmente Mantenimiento Mina presupuesta aproximadamente \$ 4,500,000,000 al año para el consumo de llantas de los camiones CAT 777G.

Se tomara la flota con mayor cantidad de equipos que son los camiones Caterpillar 777G que son los que consumen más llantas representando aproximadamente el 35% del

presupuesto anual para estos equipos. Para el desarrollo de la estrategia se hará recolección de datos, análisis de fallas utilizando metodología de causa-efecto o espina de pescado o diagrama de Ishikawa, se utilizara modelación estadística para predecir la durabilidad óptima de las llantas y se diseñara un plan de mantenimiento tanto preventivo como predictivo que ayude aumentar el promedio de vida útil de las llantas mineas de los camiones CAT 777G, logrando con esto además una reducción en los costos de operación e inventarios.

## Planteamiento del problema

En Cerro Matoso en el área de Mina se utilizan para el acarreo del mineral camiones marca Caterpillar de referencia 777G, estos equipos están diseñados para soportar una carga útil máxima de 99.8 Toneladas, su configuración está diseñado con 6 llantas, 2 en las posiciones delanteras y 4 en el tren trasero, para la empresa la configuración utilizada en las llantas es:

Llanta No. 1: Lado izquierdo posición delantera

Llanta No. 2: Lado derecho posición delantera

Llanta No. 3: Lado izquierdo posición trasera interna

Llanta No. 4: Lado derecho posición trasera interna

Llanta No. 5: Lado izquierdo posición trasera externa

Llanta No. 6: Lado derecho posición trasera externa



*Figura 1. Configuración llantas en Cerro Matoso*

Por el peso del equipo y la carga nominal que puede soportar, Caterpillar diseña una llanta 27.00R49 donde 27 se refiere a la dimensión de ancho de la banda de rodamiento de barriga a barriga, 00 es la relación porcentual del ancho de barriga a barriga en este caso es del 100%, R significa que es una llanta radial y 49 el tamaño del rin. Este tipo de llantas debe manejar de acuerdo con el fabricante una presión de 100 psi, las llantas utilizadas en la empresa son marca Michelin. El fabricante diseña la llanta para tener una vida útil de 4000 horas con posibilidad de extender hasta 4500 horas, en la actualidad en Cerro Matoso tenemos un promedio de vida útil de 3700 horas, como se detalla en la tabla 1.

*Tabla 1. Promedio vida útil llantas camión 777G*

<b>PROMEDIO VIDA UTIL DE LAS LLANTAS CAMION 777G PARA 1ER SEMETRE 2015</b>			
<b>MES (AÑO 2015)</b>	<b>PROMEDIO (HR)</b>	<b>MAS ALTO RENDIMIENTO</b>	<b>MAS BAJO RENDIMIENTO</b>
<b>ENERO</b>	3841	4665	3043
<b>FEBRERO</b>	3366	3646	2895
<b>MARZO</b>	3876	4186	3566
<b>ABRIL</b>	3548	4391	2728
<b>MAYO</b>	4254	5690	3710
<b>JUNIO</b>	3682	4327	2522
<b>JULIO</b>	3670	4424	2916

El no tener un plan de control y seguimiento normalizado del consumo de llantas en los camiones nos conlleva a incurrir en sobrecostos por el cambio prematuro de estas, estos cambios no planeados se originan principalmente por:

- La presión inadecuada en las llantas según el fabricante reduce la duración de la llanta en un 10% su vida de operación si la presión es insuficiente en un

10%, si es insuficiente en un 20% se reduce la duración de la llanta en un 25% y si la presión es insuficiente en un 30% se reduce la duración de la llanta hasta en un 50% su vida útil.

- La alineación y rotación de las llantas que afecta su vida útil ya que si no se rota y no está alineada comenzara a tener un desgaste irregular en su banda de rodamiento y de esta forma acelerara su reemplazo.
- El mantenimiento de las vías, debido a que si las vías no se les hace intervención adecuada se presentaran baches, piedras sobre tamaños y ondulaciones que provocaran daños sobre las llantas.
- La mala operación de los camiones también tiene influencia en la duración de las llantas, como por ejemplo el exceso de velocidad, tomar curvas muy cerradas a velocidades altas.
- El almacenamiento inadecuado de las llantas por estar al aire libre expuestas a los rayos solares y lluvias, y almacenadas acostadas y no verticalmente que es la forma adecuada de hacerlo.
- La falta de limpieza de las llantas es una causa importante de deterioro prematuro ya que al no quitar las piedras incrustadas, clavos, piezas metálicas



y demás objetos que puedan quedar incrustados en las llantas hacen que estas se empiecen a quebrar o perder parte de los bizcochos, haciendo que los desgastes sean peores con el rodamiento de los equipos y la llanta deba ser reemplazada rápidamente.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Diseñar una estrategia para extender la vida útil de las llantas que se usan en la flota de camiones mineros 777G CATERPILLAR en Cerro Matoso, basados prácticas de mantenimiento y mejora continua para lograr reducir los costos de mantenimiento e inventarios.

### ***Objetivos Específicos***

- ✓ Recolectar datos de operación y mantenimiento de los camiones para análisis de fallas referente a las llantas.
- ✓ Identificar y analizar los 4 modos de fallas más recurrentes en la disminución de la vida útil de las llantas usadas en los camiones Caterpillar 777 G.
- ✓ Entender como influencia en la vida útil de las llantas los mantenimientos, las rotaciones, revisión de presiones, alineaciones y limpieza de llantas.
- ✓ Calcular los sobre costos asociados a los cambios prematuros de la llantas.
- ✓ Diseñar una estrategia de mantenimiento que permita minimizar y controlar las causas que deterioran prematuramente las llantas de los camiones 777G.

## **Metodología**

Inicialmente se hará una búsqueda de toda la información relacionada con los camiones Caterpillar 777G que se encuentra disponible en el área de Mantenimiento Mina con el fin de contar con la mayor cantidad de hechos y valores reales, informes, diagnósticos de fallas, procedimientos en los mantenimientos de cambio de llantas, manuales del fabricante, se realizara una encuesta de procedimientos y se harán observaciones en el puesto de trabajo de los operadores de los camiones cuando realizan mantenimiento de estas. Paralelamente se iniciara la búsqueda externa de información en revistas especializadas, foros, seminarios, trabajos de grado relacionados con el tema y expertos en el tema.

Luego de contar con toda la información relevante procederemos a realizar una selección de los documentos de interés y que más nos aporten para el desarrollo del trabajo de grado. Para la selección de la información se procederá con lectura de toda la información identificando todo aquello que haga referencia a las llantas de los camiones 777G.

Una vez tengamos la información identificada y calificada procederemos a aplicar la herramienta de causa-efecto o espina de pescado para identificar las principales causas que conllevan a la disminución de la vida útil de las llantas. Se utilizaran modelación estadística para predecir la durabilidad óptima de las llantas. Posteriormente se realizara

un análisis de resultados de las causas encontradas y los resultados de la predicción para determinar su influencia en la disminución de la vida útil de las llantas, y se calcularan los sobrecostos asociados al cambio prematuro de las llantas en los camiones.

## **Alcances y Limitaciones**

Se diseñara una estrategia de mantenimiento de mejoramiento continuo de los procesos que se llevan a cabo en el área de Mantenimiento Mina que ayuden a prolongar el promedio de vida útil de las llantas. Dentro de la estrategia de mantenimiento se propone planes tanto preventivos como predictivos teniendo en cuenta la capacidad de mano de obra disponible actualmente en la mina, y se mostrara como un impacto positivo la implementación de esta estrategia ya que puede reducir los costos asociados al mantenimiento de los camiones e inventarios.

Actualmente la compañía atraviesa por una crisis financiera debido a los bajos costos del producto final que comercializa, debido a esto se hace necesario ajustar la estrategia a las condiciones actuales para no incurrir en costos adicionales.

Por otra parte, un factor fundamental para lograr el éxito de toda nueva implementación requiere de la buena disposición de las personas que de una u otra forma influyen en el desarrollo de la estrategia, en nuestro caso operadores y mantenedores, y dado que existen temperamentos y puntos de vista diferentes es posible que no todos acojan las nuevas tareas y lograr el objetivo final puede tardar.

## Capítulo 2

### Marco de referencia (Revisión Documental)

#### Marco Conceptual

##### *Conceptos Claves*

- **Alineación:** Proceso mediante el cual se ajustan las llantas de un vehículo para orientarlas en la dirección óptima correspondiente a la ruta y entre sí.
- **Falta de alineación:** Es el resultado de una incorrecta alineación de la suspensión delantera o trasera de un vehículo.
- **Inflado insuficiente:** Utilizar una llanta sin la presión de aire suficiente para soportar el peso del vehículo con ocupantes y carga adicional puede causar la falla de la llanta cuando se genera temperatura dentro de este incluso hasta producir la degeneración de los componentes.
- **Sobre-inflado:** Demasiado aire en las llantas, que ocasiona un desgaste prematuro en el centro de la banda de rodamiento.
- **Rotación:** Cambio de llantas de la parte delantera a la trasera o de un lado al otro del vehículo, según un patrón establecido. Es un procedimiento usado para realizar un desgaste parejo de las llantas por lo que una rotación inadecuada o una falta de rotación puede llevar a que la llanta se desgaste más rápido a lo establecido por el fabricante.

- **Mantenimiento:** Es el conjunto de actividades que realizan a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen presentando el servicio para el cual fueron diseñados.

### *Glosario de términos*

- **Alineación:** Proceso por el cual se ajustan las llantas de un vehículo para orientarlas en la dirección óptima correspondiente a la ruta y entre sí.
- **Ancho general:** Distancia entre el exterior de los dos flancos, incluidas las letras y los dibujos.
- **Altura de la sección:** La altura de una llanta, medido desde el rin hasta la banda de rodamiento externo.
- **Ancho de la sección:** La distancia entre el exterior de los dos flancos de la llanta, incluidas las letras y los dibujos.
- **Ángulo de deslizamiento:** Diferencia entre la dirección en la que se desplaza la rueda y el vehículo.
- **Balanceo/desbalanceo:** Estado en el cual las llantas y el rin giran con todo su peso distribuido equitativamente. Para corregir un desbalanceo, el mecánico experto agrega pesas en el interior o exterior del rin.
- **Banda de rodamiento:** Parte de la llanta que entra en contacto con la vía. Se distingue por el diseño de sus nervaduras y surcos. Proporciona tracción en una variedad de condiciones. Soporta grandes fuerzas y resiste el desgaste, la abrasión y el calor.

- **Derrape:** Término utilizado para describir una pérdida de tracción al tomar una curva o acelerar con partida detenida. Las llantas, en vez de agarrarse, se deslizan sobre la superficie de la vía.
- **Descripción del servicio:** Números y letras impresos en el flanco de la llanta, que indican la capacidad de carga, el índice de carga y la velocidad a la que la llanta puede transportar una carga en condiciones especificadas o según la determinación de la velocidad. También conocido como índice de carga y símbolo de velocidad.
- **Denominación de la llanta:** Código alfanumérico impreso en el flanco de la llanta que describe el tamaño de la llanta, incluidos el ancho, la relación de aspecto, el diámetro del rin, el índice de carga y la velocidad.
- **Indicador de desgaste de la banda de rodamiento:** Es una medida física en la llanta que indica cuando únicamente quedan 1,6mm de banda de rodamiento.
- **Índice de carga:** Número asignado de 0 a 279 que corresponde a la capacidad de transporte de carga de una llanta
- **Kilopascal (kPa):** Unidad métrica de presión de aire. Un psi equivale a 6,9 kPa.
- **Llanta:** Un conjunto de caucho, productos químicos, tejido y metal diseñado con precisión para proporcionar tracción y amortiguar las irregularidades de la ruta y llevar carga en diferentes condiciones.



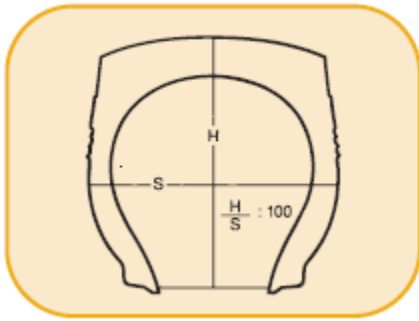
- **Microsurcos:** Aberturas especiales dentro de un bloque de banda de rodamiento que se abren a medida que la llanta rueda en la superficie de contacto y después se cierran, lo que rompe la tensión de agua en la superficie del camino y hace que el caucho entre en contacto con la vía para mantener la adherencia; ello aumenta la tracción en mojado y con nieve.
- **Presión de inflado:** Cantidad de aire dentro de la llanta que presiona hacia afuera sobre cada pulgada cuadrada de llanta, expresada en libras por pulgada cuadrada (psi) o kilopascales (kPa), la designación métrica para la presión de inflado.
- **PSI:** Abreviatura de libras por pulgada cuadradas, que es la medida de la presión en una llanta según la industria automovilística.
- **Rotación:** Cambio de llantas de la parte delantera a la trasera o de un lado al otro del vehículo, según un patrón establecido.
- **Surco:** Espacio comprendido entre dos hendiduras de la banda de rodamiento; también conocido como surco de la banda de rodamiento.
- **Sobre-inflado:** Demasiado aire en las llantas, que ocasiona un desgaste prematuro en el centro de la banda de rodamiento.
- **Vida útil de la banda de rodamiento:** La vida útil de una llanta antes de retirarlo de servicio; kilometraje.

## Marco Teórico

Para el acarreo de material en la mina de Cerro Matoso se utilizan los camiones Caterpillar 777G. El camión de obras 777G es una máquina para movimiento de tierras. Se clasifica como un camión articulado (dumper) según la norma ISO 6165:200, es autopropulsada con ruedas, con una configuración de dos ruedas delanteras y cuatro ruedas en el tren trasero, con un bastidor rígido y dirección en las ruedas delanteras, tiene una caja o volcó abierta destinada para las siguientes aplicaciones: transportar material suelto y descargar material suelto, sus características más relevantes son:

- Dimensiones: ancho: 6.68, alto: 5.2 y largo: 10.53 metros
- Peso vacío: 73.28 Toneladas
- Motor: C32 ACERT
- Capacidad de carga: 89.4 Toneladas métricas
- Neumáticos: 27.00R49

Siendo los neumáticos el tema que nos atañe en este proyecto nos enfocaremos en este tema. Como se mencionó anteriormente las llantas utilizadas en Cerro Matoso son de marca Michelin y su referencia es 27.00R49, esta nomenclatura tiene un significado específico donde el 27 se refiere al ancho de la banda de rodadura, los 00 hacen referencia a la serie de la llanta que en este caso es de serie 100 que significa que el ancho es igual al alto  $H/S=100$ , la R que es de estructura radial y el 49 es el diámetro interior correspondiente al de la llanta y está dado en pulgadas.



*Figura 2. Corte transversal llanta Michelin*

Es un neumático convencional de estructura diagonal que consta de capas textiles de nylon o de rayón, cruzadas unas con otras y unidas entre sí por una mezcla de gomas. Por las condiciones de la mina a cielo abierto, como las vías, las distancias, la geografía, las pendientes de las vías, el fabricante nos recomendó un tipo de goma B4 esto significa que es una llanta que maneja un término medio entre la resistencia a la abrasión y el calentamiento en suelos poco agresivos.

Este tipo de llanta para equipos pesados está diseñada con una cantidad de características exigidas por los clientes para garantizar su durabilidad ya que la compra de estas supone un presupuesto significativo, entre las que se encuentran:

- Resistencia al desgaste.
- Resistencia a los choques y a los cortes.
- Confort.
- Adherencia.

- Flotación.
- Tracción.
- Estabilidad.
- Baja resistencia a la rodadura.
- Que se pueda recauchutar.
- Que se pueda reparar.
- Resistencia al calentamiento.
- Resistencia a la carga.
- Resistencia a la velocidad.

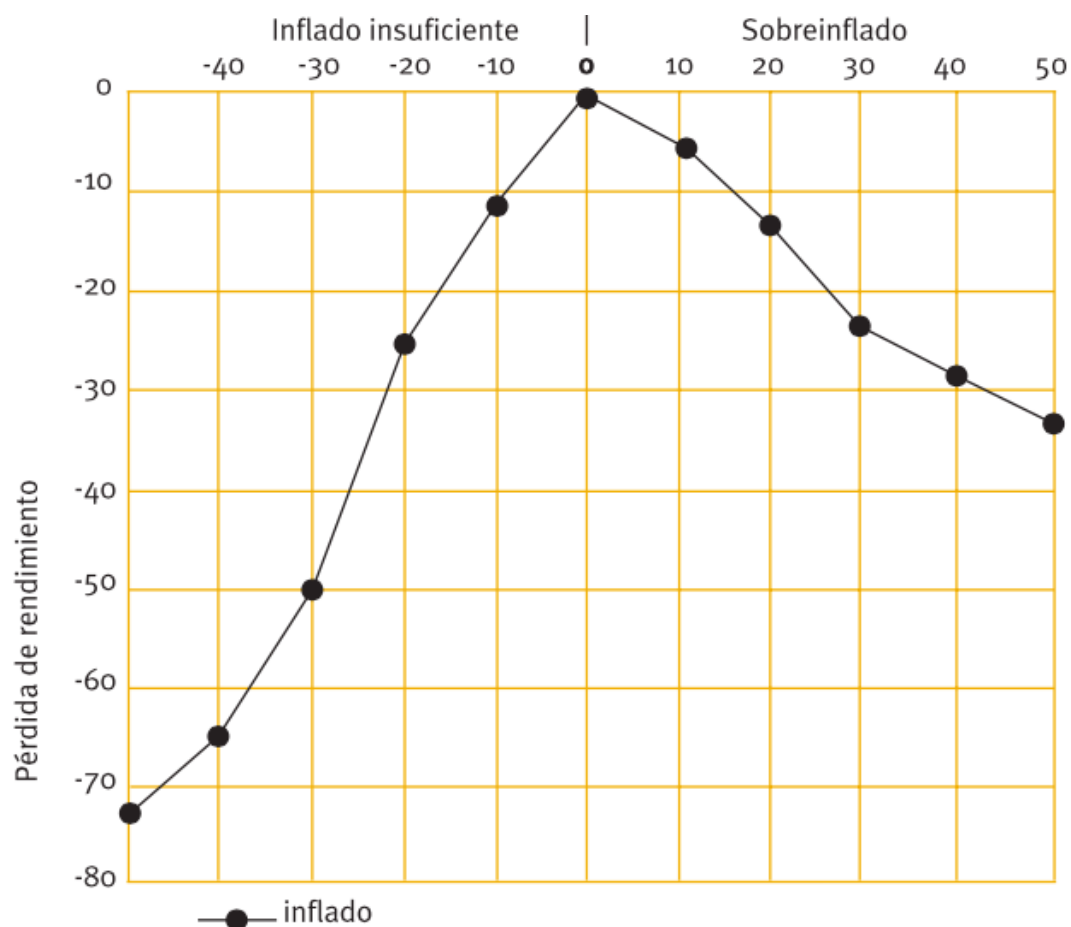
*Tabla 2. Comparativo características en llantas Michelin para Dumpers Rígidos*

	Resistencia contra las agresiones	Longevidad	Tracción en suelo blando	Capacidad de velocidad (km/h)
 MICHELIN XDT	3/5	3/5	5/5	4/5
 MICHELIN XDR2	5/5	5/5	3/5	3/5
 MICHELIN X- TRACTION	4/5	4/5	5/5	4/5
 MICHELIN X- TRACTION S	3/5	2/5	5/5	5/5

La durabilidad de los neumáticos depende en gran medida de las condiciones de mantenimiento de las pistas, de las áreas de carga y descarga y, en general de toda la operación (presencia de piedras, grietas, ondulaciones, eficiencia del drenaje, etc.).

Otro aspecto importante para considerar es la densidad del material transportado, rellenar totalmente la cuchara de una pala o la tolva de un camión puede hacer que las maquinarias trabajen en sobrecarga permanente. Asimismo, la carga no homogénea de la tolva de un camión, implica una sobrecarga lateral, concentrada en ciertos neumáticos.

“La presión y temperatura adecuadas son esenciales para garantizar un rendimiento óptimo del producto. Gracias a esto se evita el sobrecalentamiento, causa principal de deterioro de los neumáticos, que puede generar paradas de máquina.” (Michelin, 2012-2016, párrafo 1). La presión es uno de los factores esenciales para la duración de vida de un neumático. “A título indicativo un inflado insuficiente en un 10% reduce la duración del neumático en un 10%, si el inflado es insuficiente en un 20% reduce la duración del neumático en un 25% y si es insuficiente en un 30% reduce la duración del neumático en un 50%” (Michelin, 2004, p46, párrafo 1), tal como lo muestra la siguiente gráfica:



*Figura 3. Pérdidas de Rendimiento Debidas al Inflado Insuficiente o Sobreinflado (%)*

El neumático o llanta es el único elemento de contacto entre el vehículo y el suelo. Es debido a esto que se debe mantener la calidad y prestaciones de las llantas para garantizar el rendimiento, seguridad y durabilidad.

### ***Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF)***

Los AMEFs fueron formalmente introducidos a finales de los 40's en Estados Unidos por la industria aeroespacial en el desarrollo de cohetes, es una metodología desarrollada por la NASA.

El Análisis de Modo y Efecto de Fallos (AMEF) es un conjunto de directrices, un método y una forma de identificar problemas potenciales, conocidos como fallas y sus posibles efectos en el sistema en el que se encuentran para priorizarlos y poder concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta. El objetivo es evitar la ocurrencia de las fallas y tener un método documentado de prevención.

#### ***Modo de falla***

“Un modo de falla podría ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso).” (Moubray, 2004, p. 56). Expresado de otra forma un modo de falla es cualquier evento que causa una pérdida de funcionalidad.

La descripción de un modo de falla debe consistir de un sustantivo y un verbo, y deber ser lo suficientemente clara y detallada de forma que se pueda seleccionar una estrategia de manejo de falla apropiado.

Cuando se decide realizar mantenimiento significa que lo que se quiere es garantizar que los activos físicos de la empresa continúen haciendo la función para la cual se adquirieron, por lo tanto un programa de mantenimiento global deber tener en cuenta todos los eventos que pueden generar una falla o varias fallas. De aquí según Moubray, 2004, afirma. “Los modos de falla pueden clasificarse en tres grupos de la siguiente manera:

- Cuando la capacidad cae por debajo del funcionamiento deseado.
- Cuando el funcionamiento deseado se eleva encima de la capacidad inicial.
- Cuando desde el comienzo el activo físico no es capaz de hacer lo que se quiere.” (p. 61).

### ***Efectos de Falla***

De acuerdo con Moubray, 2004. “Los efectos de falla describen qué pasa cuando ocurre un modo de falla”. (p. 76). Un efecto de falla no es lo mismo que consecuencia de falla. Cuando se va a describir los efectos de las fallas se debe incluir toda la información que facilite evaluar las consecuencias de las fallas. Específicamente la descripción debe constar de lo siguiente:

- Evidencia de que se ha producido una falla.
- Las maneras en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.



- Las maneras en que la falla afecta la producción o las operaciones.
- Los daños físicos causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

### ***Tipos de AMEF***

“El procedimiento AMEF puede aplicarse a:

- Productos: El AMEF aplicado a un producto sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en el usuario o en el proceso de producción.
- Procesos: El AMEF aplicado a los procesos sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en las etapas de producción, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que puedan llegar a tener en el usuario o en etapas posteriores de cada proceso.
- Sistemas: El AMEF aplicado a sistemas sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño del software, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en su funcionamiento.

- Otros: El AMEF puede aplicarse a cualquier proceso en general en el que se pretendan identificar, clasificar y prevenir fallas mediante el análisis de sus efectos, y cuyas causas deban documentarse.” (Salazar, B, 2016, párrafo 4)

### ***Pasos para hacer un AMEF***

1. Determine el producto o proceso a analizar.
2. Determinar los posibles modos de falla.
3. Listar los efectos de cada potencial modo de falla.
4. Asignar el grado de severidad de cada efecto. Severidad a la consecuencia de que la falla ocurra.
5. Asignar el grado de ocurrencia de cada modo de falla. Ocurrencia a la probabilidad de que la falla ocurra.
6. Asignar el grado de detección de cada modo de falla. Detección a la probabilidad de que la falla se detectada antes de que llegue al cliente.
7. Calcular el NPR (Numero Prioritario de Riesgo) de cada efecto.  
$$\text{NPR} = \text{Severidad} * \text{Ocurrencia} * \text{detección}.$$
8. Priorizar los modos de falla.
9. Tomar acciones para eliminar o reducir el riesgo del modo de falla.
10. Calcular el nuevo resultado del NPR para revisar si el riesgo ha sido eliminado o reducido.

### ***Ventajas potenciales del AMEF***

“Este procedimiento de análisis tiene una serie de ventajas potenciales significativas, por ejemplo:

- Identificar las posibles fallas en un producto, proceso o sistema.
- Conocer a fondo el producto, el proceso o el sistema.
- Identificar los efectos que puede generar cada falla posible.
- Evaluar el nivel de criticidad (gravedad) de los efectos.
- Identificar las causas posibles de las fallas.
- Establecer niveles de confiabilidad para la detección de fallas.
- Evaluar mediante indicadores específicos la relación entre: gravedad, ocurrencia y detectabilidad.
- Documentar los planes de acción para minimizar los riesgos.
- Identificar oportunidades de mejora.
- Generar Know-how.
- Considerar la información del AMEF como recurso de capacitación en los procesos.” (Salazar, B, 2016, párrafo 5)

### ***Tipos de mantenimientos***

Tradicionalmente, se han distinguido 5 tipos de mantenimiento, que se diferencian entre sí por el carácter de las tareas que incluyen:

### ***Mantenimiento correctivo***

“Es el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.” (Renove Tecnología S.L, 2009-2016, párrafo 1).

### ***Mantenimiento preventivo***

“Es el mantenimiento que tiene por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suele tener un carácter sistemático, es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.” (Renove Tecnología S.L, 2009-2016, párrafo 2).

### ***Mantenimiento predictivo***

“Es el que persigue conocer e informar permanentemente del estado y operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este mantenimiento, es necesario identificar variables físicas (temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de

medios técnicos avanzados, y en ocasiones, de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y/o técnicos.” (Renove Tecnología S.L, 2009-2016, párrafo 3).

### ***Mantenimiento cero horas (Overhaul)***

“Es el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. Dicha revisión consiste en dejar el equipo a Cero horas de funcionamiento, es decir, como si el equipo fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reparan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano.” (Renove Tecnología S.L, 2009-2016, párrafo 4).

### ***Mantenimiento en uso***

“Es el mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario una gran formación, sino tal solo un entrenamiento breve.” (Renove Tecnología S.L, 2009-2016, párrafo 5).

### ***Fallas más comunes en los neumáticos***

Los neumáticos están diseñados para un número de horas según lo especifique su fabricante, pero ese rendimiento se puede ver afectado por múltiples fallas de las cuales listamos a continuación las principales causas que deterioran prematuro los neumáticos:

#### ***Un inflado insuficiente***

Utilizar una llanta sin la presión de aire suficiente para soportar el peso del vehículo con ocupantes y carga adicional puede causar la falla de la llanta cuando se genera temperatura dentro de este incluso hasta producir la degeneración de los componentes. Es una las causas más recurrentes que influyen en el cambio temprano de las llantas en los camiones, debido al peso que deben transportar el inflado insuficiente es un factor muy influyente para la disminución de la vida útil.

#### ***Sobreinflado***

Produce un desgaste prematuro de la banda de rodamiento, y una mayor sensibilidad a los choques y a los cortes.

### ***Rotación de llantas***

El no rotar las llantas en el momento adecuado puede originar desgastes irregulares que acortan la vida útil de las llantas.

### ***Alineación***

El resultado de una incorrecta alineación de la suspensión delantera de un vehículo. Es una de las causas para la disminución prematura de la vida útil de las llantas.

### ***Sobrecarga***

A veces encontramos una sobrecarga en los neumáticos, sobrecarga que se debe, a veces, a la naturaleza y al estado del material transportado, así como a la forma en que se efectúa la carga. A título indicativo:

- ✓ Una sobrecarga del 10% reduce la duración del neumático en un 15%.
- ✓ Una sobrecarga del 20% reduce la duración del neumático en un 30%.
- ✓ Una sobrecarga del 30% reduce la duración del neumático en un 50%.

### ***Velocidad excesiva***

Produce un aumento de la temperatura dentro del neumático y desgaste prematuro de la banda de rodamiento. Los daños pueden agravarse o producirse debido a las fuerzas mecánicas generadas por: fuerzas laterales que aparecen en las curvas de muy bajo radio, choques con el suelo mal mantenido, martilleo debido al estado de la superficie del suelo.

### ***Influencia de las condiciones climáticas***

Dependiendo de que la temperatura sea más o menos elevada o de que el clima sea seco o húmedo, el neumático soportará las consecuencias.

### ***Diferencia ente los diámetros de los neumáticos montados sobre el vehículo***

Un diámetro diferente (desgaste diferente, neumáticos de tipos o de marcas distintas) entre dos neumáticos de un conjunto de ruedas gemelas (máquinas de transporte) genera un desgaste más rápido e irregular del conjunto de los neumáticos. Para los dumpers articulados, se tolera una diferencia de diámetro del 2% entre el eje anterior y los ejes posteriores, una diferencia de diámetro del 1,5% entre los neumáticos de un mismo eje, y una diferencia de diámetro del 1,5% entre los dos ejes posteriores.



### ***La conducción de la máquina***

La manera de conducir la máquina influirá en la duración de los neumáticos. En efecto, la frecuencia: de los frenazos brutales y repetitivos, de las bruscas aceleraciones, de las curvas tomadas a gran velocidad (aumento excesivo del calentamiento), del patinazo de las ruedas motrices (caso de los scrapers durante la carga), de la mala conducción de una cargadora durante la carga (patinazo de las ruedas) se reduce de forma espectacular la vida de los neumáticos.

### ***La duración y la longitud de los ciclos***

Unos ciclos largos, sobre todo en pistas acondicionadas, favorecen velocidades elevadas y, por tanto, importantes elevaciones de la temperatura en el interior de los neumáticos. Lo mismo ocurre cuando es importante el tiempo de rodaje en comparación con el tiempo de reposo del vehículo.

### ***El mantenimiento mecánico de los vehículos***

El mal estado mecánico de una máquina puede influir en la duración de vida de los neumáticos.

- ✓ Unos frenos defectuosos, hacen que se calienten excesivamente las ruedas metálicas y, por tanto, los neumáticos.

- ✓ Un paralelismo incorrecto de las ruedas directrices de una máquina de transporte.
- ✓ Holgura en las manguetas, rótulas, pivote, etc.

En estos dos últimos casos, el neumático se desgastará de una forma anormalmente rápida. Para simplificar, los neumáticos de un mismo eje ya no estarán en paralelo y no rodarán sobre el suelo, sino que resbalarán por encima.

### ***El trazado y el mantenimiento de las pistas***

El perfil de las pistas, longitudinal y transversal, la forma y el trazado de las curvas, así como la importancia de las pendientes, tienen una importancia significativa en la sobrecarga dinámica (en el caso de subida o bajada con carga) y en el ripiado de los neumáticos, favoreciendo la separación de la banda de rodamiento de la carcasa.

- ✓ Una pendiente en descenso (descenso con carga de una máquina de transporte) incrementará la carga sobre el eje anterior con el valor de la pendiente.

Una pista inclinada, en línea recta, o en curva con peralte incrementará de forma significativa la carga soportada por los neumáticos situados en el lado contrario al peralte.

Un mantenimiento regular de las pistas, la limpieza de las áreas de carga y la retirada de

cualquier obstáculo (rocas caídas durante el transporte, residuos, etc.) preservan los neumáticos de accidentes tales como choques, cortes, perforaciones, etc.

### ***Diagrama de Ishikawa***

“El diagrama de causa-efecto de Ishikawa es un método gráfico que se usa para efectuar un diagnóstico de las posibles causas que provocan ciertos efectos, los cuales pueden ser controlables.” (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, 2009, p.22, párrafo 2)

Esta herramienta facilita la visualización de todas las causas que afectan un problema mediante la relación entre un efecto o consecuencia y la causa que las produce. El diagrama tiene varias aplicaciones entre las que se encuentran:

- Identificar las causas de una determinada situación y agruparlas por categorías.
- Resumir todas aquellas relaciones entre las causas y efectos de un proceso.
- Promover la mejora de los procesos.
- Favorecer también el pensamiento del equipo.
- Permite la recolección de datos.

El diagrama de Ishikawa se construye con la forma de una espina de pescado con los siguientes pasos:

1. Decidir el efecto o problema que se quiere controlar y se ubica al lado derecha de la flecha horizontal simbolizando la cabeza del pescado.
2. Se colocan las categorías principales con una flecha apuntando hacia la flecha principal simbolizando el esqueleto.
3. Realizar una lluvia de ideas con todo el grupo interdisciplinario.
4. Escribir sobre cada una de las ramas las causas secundarias. Un diagrama bien definido debe tener al menos dos niveles.
5. Completar el diagrama con todas las causas identificadas en la lluvia de ideas.

### ***Coefficiente de correlación múltiple***

La correlación entre dos variables cuantitativas para verificar su relación se conoce como correlación simple, porque solo involucra una variable independiente, mientras que la relación entre varias variables independientes con una dependiente se le llama correlación múltiple.

Esta herramienta estadística en su modelo matemático busca conocer la correlación entre tres o más variables, en las que dos de ellas se asocian y la tercera se muestra sin cambio. Lo que se busca es medir la fuerza y la dirección de asociación de

una variables frente a las otras, es decir, determinar si la relación es inversa o directa y que tan fuerte es.

El coeficiente de correlación ( $r$ ) puede tomar valores entre  $-1$  y  $+1$ , de modo que un valor de “ $r$ ” positivo indica que al aumentar el valor de una variable también aumenta el valor de la otra, y cuando “ $r$ ” es negativo indica que al aumentar el valor de una variable disminuye la otra. La correlación será perfecta se da si  $r = \pm 1$ .

### ***Regresión lineal múltiple***

El análisis de regresión lineal múltiple nos permite encontrar la relación entre una variable dependiente y varias independientes. Esta herramienta estadística es usada para análisis reales de fenómenos, de hechos y procesos sociales que por su naturaleza son casos complejos y que por lo regular su explicación depende de una serie de variables.

Con una regresión lineal múltiple se pueden identificar las causas y resultados de un caso de estudio que involucre varias variables, además nos permite comparar y comprobar modelos y predecir sus valores a partir de características de comportamientos o estados. Como afirma Jiménez (2012), “en muchas situaciones practicas existen varias variables independientes que se creen que influyen o están relacionadas con una variable de respuesta  $Y$ , y por lo tanto será necesario tomar en cuenta si se quiere predecir o entender mejor el comportamiento de  $Y$ .”

## **Capítulo 3**

### **Desarrollo de la metodología**

#### **Introducción**

El diseño de la estrategia que prolongue o extienda la vida útil de las llantas mineras usadas en los camiones CAT777G se inicia con la identificación de las causas que impacten el tiempo que el componente puede ser usado para el desarrollo seguro de la operación de acarreo de material. Las principales fuentes de información para obtener en primera medida una lluvia de ideas de las condiciones o aspectos que reducen la vida útil de las llantas fueron reportes de ejecución de mantenimientos de los camiones, información encontrada en el sistema de la empresa e información suministrada por los ingenieros y mantenedores de los equipos.

Una vez obtenidas todas las posibles causas de disminución de la vida útil de las llantas se procede al desarrollo a la aplicación del diagrama de Ishikawa comúnmente conocida como espina de pescado para tomar de aquí las principales razones que hacen disminuir el tiempo operativo seguro de las llantas.

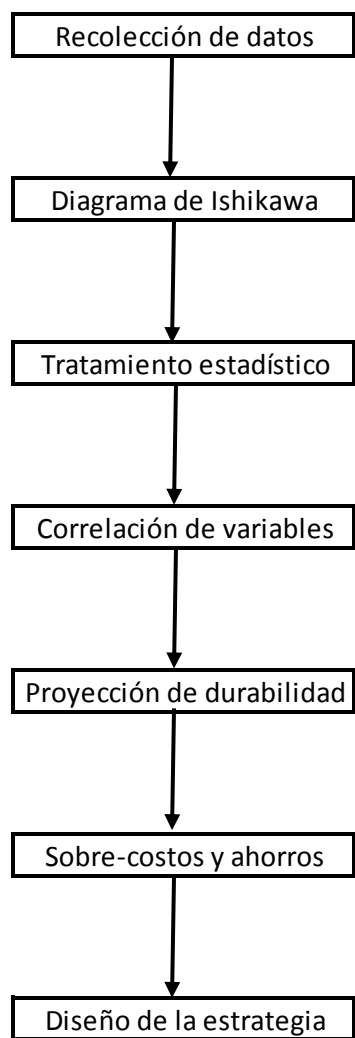
Luego del desarrollo del diagrama de Ishikawa se procede a la recolección de datos de una muestra significativa de las llantas en rodamiento a través del software OperTrack que maneja la empresa para control de presión, rotación, desgaste y tiempo de rodamiento de las llantas en los camiones CAT 777G.

Después de tener los datos mencionados anteriormente organizados en Microsoft Excel se procede a desarrollar la modelación estadística de los datos a través de la determinación del coeficiente de correlación y una regresión lineal múltiple para determinar la relación entre las variables encontradas y la durabilidad de la llanta en operación. Mediante los resultados obtenidos en la modelación se realiza una proyección de la mejora en la vida útil de las llantas al suponer unas condiciones de las variables de influencia mejores a las encontradas en la recolección de datos.

Con los datos de proyección obtenidos se procede a realizar un cálculo simple de sobrecostos actuales en comparación con un posible ahorro si se controlan las variables de influencia en la vida útil de las llantas.

Por último el análisis de resultados conduce al diseño de una estrategia de mantenimiento que extienda la vida útil de las llantas, en donde se plantean rutinas de inspecciones y verificaciones de las distintas variables analizadas y recomendaciones a tener en cuenta.

El proceso metodológico aplicado para el desarrollo del proyecto se puede apreciar en la figura 4.



*Figura 4. Esquema de la metodología utilizada*



## **Recolección de datos**

Para la recolección de datos se iniciara con la determinación de manera cualitativa de las razones que causan que se disminuya de manera prematura la vida útil de las llantas mineras usadas en los camiones CAT 777G. Luego se hace una recolección cuantitativa de datos disponibles en el Software OperTrack para realizar análisis estadísticos.

### ***Lluvia de ideas***

Luego del análisis y revisión de reportes de mantenimiento, consultas con operadores de los camiones y supervisores de área de Mantenimiento Mina se obtuvo una amplia posibilidad de razones que pueden influenciar en la disminución de la vida útil de las llantas. A continuación se detalla el listado encontrado:

- Diferencia ente los diámetros de los neumáticos montados sobre el vehículo.
- Influencia de las condiciones climáticas.
- Velocidad excesiva.
- Sobrecarga.
- Falta de alineación.
- Rotación de llantas.
- Sobreinflado.

- Un inflado insuficiente.
- La duración y la longitud de los ciclos.
- El mantenimiento mecánico de los vehículos.
- El trazado y el mantenimiento de las pistas inadecuado o bajo.
- Velocidad excesiva en curvas.
- Rocas en el trazado.
- Baja rotación de las ruedas.
- Áreas de carga y descarga.
- Tamaño de los baches.
- Habilidad del operario.
- Elección de neumáticos.
- Estructura del neumático.
- Falta de inspección de llantas.
- No quitar objetos extraños de las llantas.
- Tipo de dibujo.
- Carga máxima permitida.
- Velocidad máxima permitida.

***Encuesta a mantenedores y operadores***

Por turnos se tienen 25 operadores y son 4 grupos de rotación, de cada grupo siempre están 16 operadores asignados a camiones, de cada grupo se escogieron 6 para que realizaran la entrevista.

La encuesta realizada consta de preguntas específicas de respuesta única de afirmación o negación para determinar de manera si los operadores actualmente están o no realizando un mantenimiento adecuado de las llantas de los camiones. A continuación se detallan las preguntas realizadas y la tabulación. Ver Apéndice A.

Encuesta para operadores camiones mineros:

1. Usted realiza inspección al camión antes de iniciar la operación? Si\_\_ No\_\_
2. Lo hace utilizando un lista de chequeo existente de inspección de la maquina?  
Si\_\_ No\_\_
3. En la inspección que le realiza al equipo inspecciona las llantas? Si\_\_ No\_\_
4. Si en la inspección a las llantas si encuentra alguna condición la reporta inmediatamente? Si\_\_ No\_\_
5. Cuando en la inspección de las llantas evidencian piedras o rocas incrustadas en el labrado de las llantas las retira? Si\_\_ No\_\_
6. Mientras está operando el camión tiene precaución de los sobre tamaños que se encuentran en las vías? Si\_\_ No\_\_

*Tabla 3. Tabulación respuestas encuesta a operadores*

ENTREVISTADOS	PREGUNTAS											
	1		2		3		4		5		6	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
1	X			X	X			X		X	X	
2	X			X	X			X		X	X	
3	X			X		X		X		X	X	
4	X			X	X		X		X		X	
5	X			X		X		X		X	X	
6	X			X		X		X		X	X	
7	X			X		X		X		X	X	
8	X			X		X		X		X	X	
9	X			X		X		X		X	X	
10	X			X	X		X		X		X	
11	X			X		X		X		X	X	
12	X			X	X			X		X	X	
13	X			X	X			X		X	X	
14	X			X	X			X		X	X	
15	X			X	X			X		X	X	
16	X			X		X		X		X	X	
17	X			X		X		X		X	X	
18	X			X		X		X		X	X	
19	X			X	X		X		X		X	
20	X			X	X			X		X	X	
21	X			X		X		X		X	X	
22	X			X		X		X		X	X	
23	X			X		X		X		X	X	
24	X			X	X			X		X	X	
<b>TOTALES</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	

De manera general todos los operadores de los distintos camiones CAT 777G realizan una inspección de los equipos que van a conducir pero de una forma no estandarizada y sin seguir un paso a paso de las partes y sistemas del camión a verificar por lo que queda a criterio del operador hacer una inspección exhaustiva o superficial.

Entrando más en detalle con respecto al repuesto principal para la investigación que son las llantas se obtuvo que el 46 % de los operadores realizan una inspección de las llantas pero tan solo el 12,5 % de esos que hacen una inspección de las llantas reporta alguna condición encontrada y se toma el tiempo necesario para retirar objetos extraños de la llanta.

### ***Observación de tarea***

Esta observación se realizó en dos partes la primera al grupo de mantenedores la segunda a los operadores, esto con el ánimo de verificar si dentro de sus actividades ellos tenían contemplado la revisión preventiva y la inspección de las llantas.

En el grupo de mantenedores durante la inspección se encontraron varios hallazgos importantes:

1. Dentro del procedimiento que existe del mantenimiento preventivo solo habla de realizar una inspección visual de las 6 llantas del camión, medir la altura del labrado.
2. Cuando se les pregunto a los diferentes grupos del que realizan el mantenimiento preventivo si ellos retiraban las rocas o piedras que tenían las llantas incrustadas, la respuesta fue que en la mayoría de los casos no lo hacían porque no tenían esa instrucción.
3. Lo único que se le hace a las llantas en un mantenimiento preventivo es una inspección visual para detectar cortes y se le mide la altura del labrado para verificar si ya está cerca del cambio o rotación según sea el caso.

4. No existe un conocimiento amplio en todos los técnicos sobre llantas, desconocen procedimientos y conceptos referentes al tema de las llantas.

En cuanto a los operadores solo hacen una inspección visual bastante superficial y en su mayoría no tienen ningún contacto con las llantas es decir que si le ven una piedra o roca incrustada no la retiran, y si evidencian un corte o alguna condición anormal lo reportan a mantenimiento para que evalúen, tienen muy poco conocimiento de las llantas.

A continuación se muestra un registro fotográfico de la observación:



*Figura 5. Revisión de bitácora del camión*



*Figura 6. Revisión nivel aceite hidráulico*



*Figura 7. Revisión nivel aceite tren trasero*



*Figura 8. Revisión de las llantas*



*Figura 9. Revisión de wiggins combustible*



*Figura 10. Revisión nivel de aceite de motor*



### ***Recolección de datos en OperTrack***

Para analizar los datos estadísticamente se recurrió al Software OperTrack usado por Cerro Matoso para el registro de varias medidas tomadas a las llantas entre las que se encuentran tiempo de rodamiento u horas de operación, presión de la llanta, altura de la banda de rodamiento, rotación de llantas entre camiones, cambios de posición de las llantas en el camión, entre otras. Estos datos obtenidos posteriormente se harán usados para un análisis estadístico con el fin de encontrar una relación entre las variables y determinar una proyección de durabilidad de las llantas basado en las variables de mayor incidencia.

Del Software Opertrack se tomaron los datos de 25 llantas. Entre las variables seleccionadas por llanta durante todo un periodo de vida útil fueron:

- Banda de rodamiento
- Presión de la llanta
- Horas de operación

A manera de ejemplo se muestran algunas gráficas de los datos obtenidos del Software OperTrack de Michelin.

La siguiente gráfica muestra en los puntos verdes los días en lo que se inspecciono el camión M3-33.

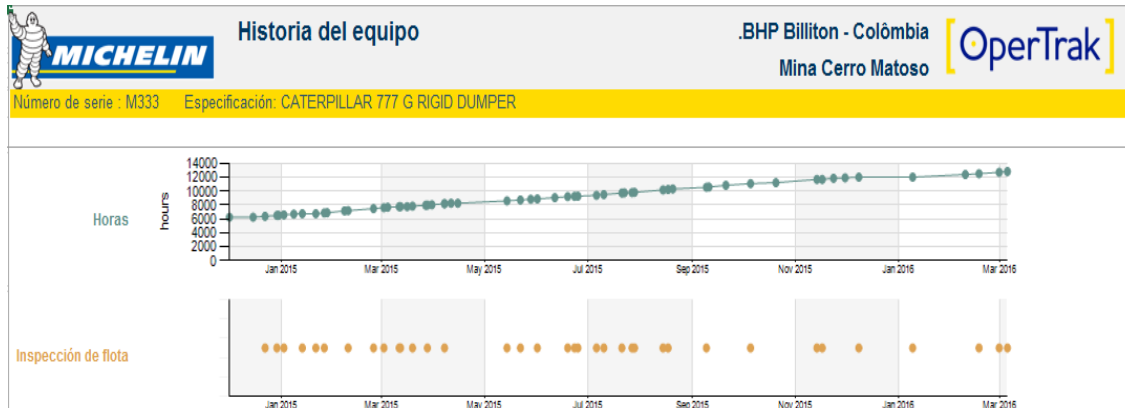


Figura 11. Fechas de inspección camión M3-33

La siguiente imagen muestra el historial de una llanta con referencia UCK0160M6A.

Hay 4 datos que se muestran:

1. La llanta y los camiones por donde paso en un rango de tiempo.
2. Muestra la tendencia de la altura del bizcocho de la llanta.
3. Horas de trabajo.
4. Presión de llanta.

Cada uno de los puntos significa una toma de medida en un día específico.

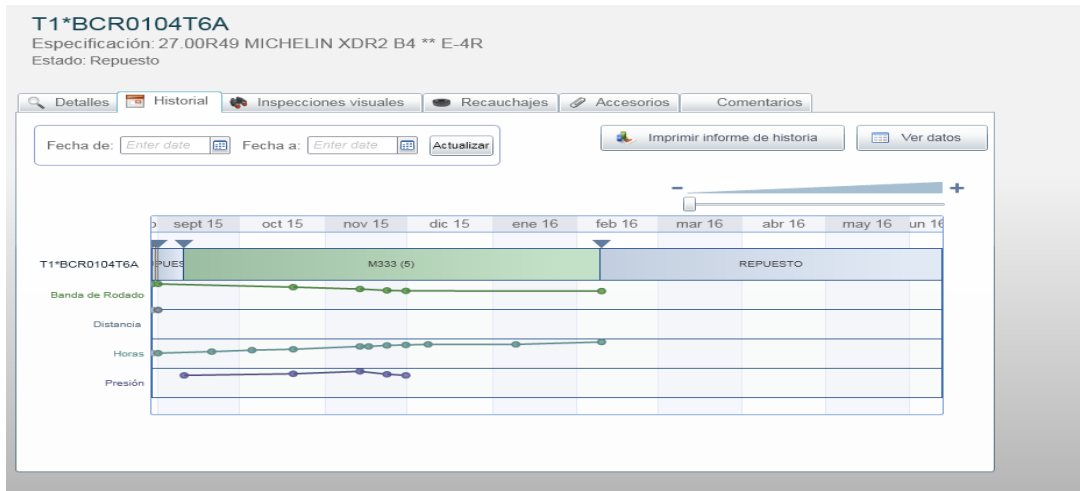


Figura 12. Historial de datos para la llanta UCK0160M6A en un período

La siguiente gráfica es el resultado de exportar a excel el informe de la llanta en la grafica anterior.

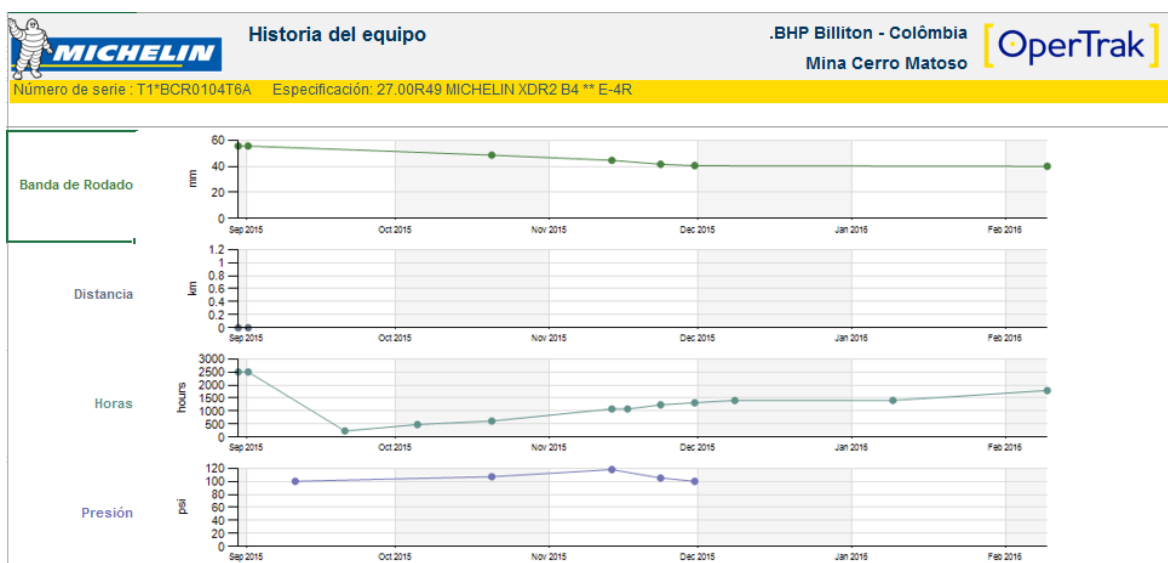



Figura 13. Historial de datos en Excel para la llanta UCK0160M6A en un período

La siguiente gráfica muestra un informe del camión M3-33 donde se muestra las llantas usadas en el camión con su serial, presiones, profundidades y % de desgaste, en un día específico.



Componentes instalados

.BHP Billiton - Colombia

Mina Cerro Matoso

Tipo de componente: Neumático

Agrupar por: Vehículo


Mostrar datos de precio: No

M333

Número de serie	Número de serie del sitio	Posición	Fabricante	Especificación	Fecha de Último Evento	Distancia total (km)	Horas totales	% de desgaste	RTD (mm)	Tasa de Desgaste (hours/mm)
BCK0479F5A		1	MICHELIN	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R	05-Mar-2016	0	432	9	82,00	54.00
YCR0118U8A		2	MICHELIN	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R	05-Mar-2016	0	432	11	80,00	43.20
UCK0159M7A		5	MICHELIN	27.00R49 MICHELIN XDR2 B ** E-4	05-Mar-2016	0	2395	56	40,00	47.90
UCK0160M6A		3	MICHELIN	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R	05-Mar-2016	0	2649	59	36,50	49.51
YCR0102U4A		4	MICHELIN	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R	05-Mar-2016	0	2210	51	44,00	48.04
YCR0138U8A		6	MICHELIN	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R	05-Mar-2016	0	2210	51	44,00	48.04

Figura 14. Informe llantas en el camión M3-33 en un día específico


Por último esta una gráfica de ubicación de la llanta en un camión y los colores respectivos de acuerdo a su estado, usando el código de colores que indica el nivel de profundidad restante de la banda de rodadura, especificado más adelante.



Inspección de flota

.BHP Billiton - Colombia

Mina Cerro Matoso



Fecha de inspección: 10-feb-2016 7:00

Flota: Camiones 777

Moneda: USD

Vehicle: M334

Date: 10-Feb-2016 7:00

CATERPILLAR 777 G RIGID DUMPER

Horas:

Distancia:

No comments recorded

1

2

5

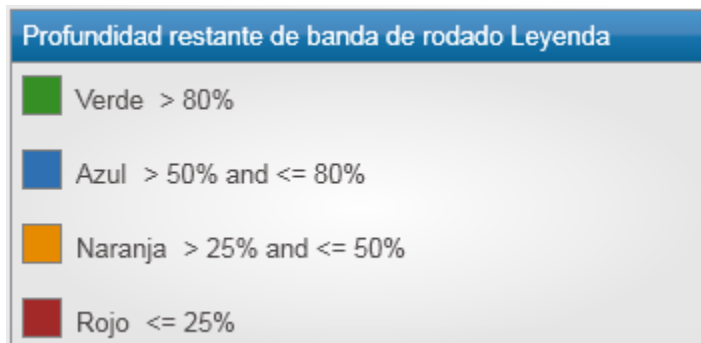
3

4

6

Posición	Número de serie	Especificación	% desgaste	Inspección visual
1	BCR0074M2A	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R		
2	YCR0099U7A	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R		
5	BCK0491F3A	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R		
3	ZCL0072T8A	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R		
4	ZCL0053T7A	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R		
6	ZCL0068T2A	27.00R49 MICHELIN XDR2 B4 ** E-4R		

Figura 15. Ubicación de las llantas en el camión M3-34



*Figura 16. Código de colores para la profundidad restante de la banda de rodado*

## **Diagrama de Ishikawa**

Por medio del diagrama de Causa-Efecto se hizo un análisis cualitativo de las posibles causas o variables que afectan la vida útil de las llantas. La intención de usar el diagrama de Causa-Efecto fue poder encontrar las razones de mayor impacto en la operación de Cerro Matoso analizando todas las posibilidades y así evitar el error de buscar de manera directa la solución al problema.

Existen tres tipos básicos de diagramas de Ishikawa los cuales varían en la forma como se buscan y se organizan las causas en la gráfica. Para el caso de estudio se procedió a usar el método de las 6M dada la facilidad de interpretación y que obligara a considerar las posibles causas desde distintos puntos de vista como los son: mano de obra, materiales, mediciones, medio ambiente, máquina y método.

Inicialmente se estableció el problema para el cual se desarrolló el diagrama y de este se planteó una meta clara y delimitada en el tiempo para no perder el foco. Después se realizó una lluvia de ideas de todas las posibles condiciones y/o características que pudieran ser causa de la disminución de la vida útil de las llantas mineras usadas en los camiones CAT 777G. Luego, estas causas encontradas se ubicaron en las ramas correspondientes hasta que se logró tener el diagrama completo como se muestra en la siguiente gráfica.

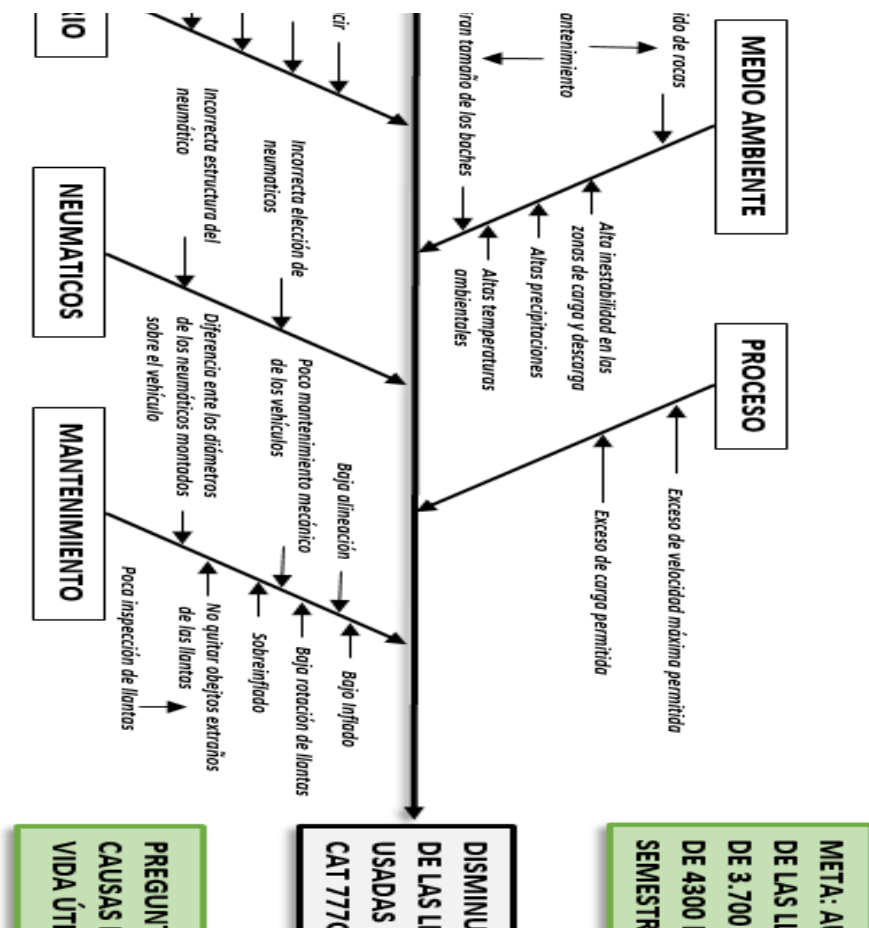


Figura 17. Diagrama de Ishikawa para la disminución de la vida útil de las llantas mineras

### Selección de variables para estudio

Después de la lluvia de ideas y de las recomendaciones de los expertos se logró plasmar en el diagrama de causa y efecto o espina de pescado un número de causas y sub causas que nos ayudaran a encontrar las más potenciales o reales, para efectos de explicación tomaremos cada una de las categorías mayores (ciclos, medio ambiente, proceso, operativo, neumáticos y mantenimiento) y analizaremos cada una de las causas relacionadas con dicha categoría para poder llegar a las más representativas.

En la categoría de ciclos encontramos las siguientes causas:

- Alta duración de los trayectos
- Longitudes extensas de los trayectos

En estas dos causas logramos identificar que no es fácil influir en ella ya que la mina tiene una geografía y unas vías ya establecidas, y al consultar con los geólogos de la mina ellos argumentaron que siempre que se diseña un plan de tráfico para definir el trayecto de los ciclos se escoge el trayecto más corto para lograr obtener el mayor número de toneladas posibles. Por esta razón estas causas ya están siendo monitoreadas por personal idóneo.

Para la categoría de medio ambiente tenemos las siguientes causas:

- Alto contenido de rocas en la vía.
- Gran tamaño de los baches.
- Alta intensidad en las zonas de carga y descarga.
- Altas precipitaciones.
- Altas temperaturas ambientales.

Las causas que encontramos en esta categoría si bien sabemos que de alguno u otra manera influyen en la vida útil de las llantas, también sabemos que para controlarlas



es necesario realizar el mantenimiento de las vías por esta razón no nos concentraremos en analizarlas pero si tenerlas en cuenta en los resultados de este estudio.

La tercera categoría es la de procesos en la que tenemos las siguientes causas:

- Exceso de velocidad máxima permitida.
- Exceso de carga permitida.

Estas dos causas en la actualidad son controladas por la compañía, el exceso de velocidad está incluido entre las reglas de oro que debe respetar los operadores ya que ellos son monitoreados de forma satelital por medio de un software llamado MODULAR y además la maquina tiene un dispositivo que almacena segundo a segundo la velocidad del camión y el nombre del operador. En cuanto a la máxima carga permitida todos los camiones tienen al lado izquierdo de la cabina del operador en la parte externa una pantalla que muestra las toneladas con las que se ha cargado el camión, esta pantalla la ve el operador de los equipos de cargue y por medio de ella sabe cuánto es lo máximo que le puede echar al camión, por estas dos razones estas causas no las analizaremos.

En la categoría de operario tenemos las siguientes causas

- Baja velocidad para conducir
- Exceso de carga del material
- Alta velocidad al conducir
- Alta velocidad en las curvas

- Exceso de frenado en seco

Estas causas igual que en las anteriores todas son monitoreadas por las tecnologías que trae el camión y que se usan en la base de despacho de la flota por esta razón siempre están monitoreadas y son controladas, dado el caso en que alguna ocurra se le hace el llamado de atención al operador para que no la repita y se hay recurrencia en ellas por un mismo operador tiene procesos disciplinarios que irán a su hoja de vida, sin embargo es necesario tenerlas presente a la hora de plantear una estrategia.

En la siguiente categoría de neumáticos están las siguientes causas:

- Incorrecta selección de los neumáticos
- Incorrecta estructura de los neumáticos

Estas causas definitivamente no serán analizadas ya que el neumático que se utiliza hoy en día en la mina es el idóneo para nuestra geografías, fue seleccionado teniendo en cuenta la velocidades para los ciclos que tenemos, el tipo de material es el más resistente y el labrado de las llantas se presta para las necesidades nuestras, hoy en día se tienen informes de la selección de los neumáticos o llantas usados en la mina y la justificación de porque son esos, estos informes fueron elaborados junto con expertos enviados directamente por el fabricante, por esta razón estas causas ya están controladas.

Y por último tenemos la categoría de mantenimiento en la que tenemos las siguientes causas:

- Baja alineación
- Poco mantenimiento mecánico de los vehículos
- Diferencia de diámetros entre los neumáticos montados en los equipos
- Bajo inflado
- Baja rotación de llantas
- Sobre inflado
- No quitar objetos extraños de las llantas
- Poca inspección de las llantas

Cuando comenzamos a revisar estas causas nos encontramos con que no tenemos muchos registros que evidencien que las tenemos en control, en las entrevistas de los operadores y los técnicos evidenciamos que no las tienen como una prioridad dentro de sus rutinas y además al momento de revisar la teoría nos dimos cuenta que verdaderamente son causas reales y de mucho impacto en la durabilidad de una llanta para camiones mineros, la mayoría apuntan al área de mantenimiento a pesar de que algunas tienen que ver con la operación, después de evidenciar que de estas causas no tenemos registros y que son de una alta significancia para la vida de un neumático, entraremos analizarlas todas pero dado que algunas están agrupadas por su alta relación por ejemplo la de bajo inflado y sobre inflado de los neumáticos su variable principal es la presión, con este criterio logramos dejar 4 variables para analizar que son:

- Presión
- Rotación llantas
- Alineación
- Limpieza de las llantas

Estas variables las analizaremos para lograr encontrar la forma de cómo controlarlas y qué relación existe entre ellas que nos permita establecer unos criterios de control que puedan ser implementados y monitoreados para incluirlos en un ciclo de mejoramiento.

Por lo tanto las causas o condiciones de más impacto o influyentes en la reducción de la vida útil de las llantas mencionadas anteriormente serán la base para el inicio de recolección de datos en campo que permitirá medir la influencia de cada causa y los sobrecostos que estos generan, para luego realizar una modelación estadística que permita predecir la durabilidad óptima de las llantas.

## **Tratamiento estadístico**

Para analizar los datos obtenidos de la información recopilada se utilizó una herramienta estadística llamada coeficiente de correlación y otra que se denomina regresión lineal múltiple para identificar la relación existente entre cada una de las variables tenidas en cuenta, que son:

- Banda de rodamiento
- Presión de la llanta
- Horas de operación

Cuando se utiliza el cálculo del coeficiente de correlación, en nuestro caso de 3 variables, lo que se busca inicialmente es medir la fuerza y la dirección de asociación de una variables frente a las otras, es decir, determinar si la relación es inversa o directa y que tan fuerte es pero no determina una relación de causalidad. Y luego cuando ya se ha determinado que se tiene una variable que es causa o depende de una de las otras o de ambas se puede realizar una regresión lineal para determinar el grado de asociación entre las variables, es decir, sirve para descartar aquellas variables que no aportan información para el estudio y por otra parte a seleccionar las variables que influyen en la variable dependiente, y también para realizar una predicción de la variable que se indicó como dependiente. Se usa por lo tanto una variable dependiente para poder corroborar como las demás variables la afectan y la medida en que la afectan.

### *Coefficiente de correlación*

Esta herramienta estadística en su modelo matemático busca conocer la correlación entre tres o más variables, en las que dos de ellas se asocian y la tercera se muestra sin cambio. El objetivo es determinar cuál es la variable dependiente y como se relacionan las demás variables de estudio con esta, lo que para nuestro caso sería determinar de las 3 variables con las que se cuentan horas de operación, banda de rodamiento y presión cómo es la relación entre si y como se afectan entre ellas para así definir que variable depende de las otras y en qué medida.

Al realizar el análisis de coeficiente de correlación entre las tres variables de datos que se tiene los resultados fueron los desplegados en la tabla a continuación:

*Tabla 4. Análisis de coeficiente de correlación de 3 variables*

	<i>Horas (hours)</i>	<i>Presión (psi)</i>	<i>Banda de Rodado (mm)</i>
Horas (hours)	1		
Presión (psi)	-0,059116297	1	
Banda de Rodado (mm)	-0,938810338	0,078905081	1

El coeficiente de correlación ( $r$ ) puede tomar valores entre -1 y +1, de modo que un valor de “ $r$ ” positivo indica que al aumentar el valor de una variable también aumenta el valor de la otra, y cuando “ $r$ ” es negativo indica que al aumentar el valor de una variable disminuye la otra. La correlación será perfecta se da si  $r = \pm 1$ .

De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis se observa que existe una relación inversa fuerte entre la banda de rodamiento y las horas de operación con un porcentaje de 93.8% de correlación. Este resultado nos permite concluir que la banda de rodamiento se afecta entre más horas de operación exista o dicho de otra forma que las horas de operación de la llanta depende del tamaño de la banda de rodamiento, y para poder maximizar el consumo de la banda de rodamiento es necesario mantener la presión en el rango especificado por el fabricante de 100 psi en frío, por lo que aunque el resultado determina que no hay una relación fuerte entre la presión con la banda de rodamiento y las horas de operación, esta es una variable que se puede controlar y termina siendo fundamental para lograr aumentar la vida útil de las llantas.

### ***Regresión Lineal Múltiple***

Para hacer el análisis de regresión es necesario tomar una de las variables como dependiente y las otras como independientes, por tal razón es necesario realizar un análisis donde cada una de las variables las tomemos como variable dependiente y observar como es el comportamiento.

La teoría dice que los resultados que arroja la regresión son entre otros:

- El coeficiente de correlación múltiple,
- El coeficiente de determinación
- El R<sup>2</sup> ajustado

Mientras que el resultado del coeficiente de correlación y del coeficiente de determinación más se acerquen a 1 tendrán una relación fuerte y será positiva; y mientras los coeficientes tiendan a estar cerca de cero menos relación tendrán las variables, lo que permitirá saber cuál variable es más dependiente de las otras y con esa información poder establecer y plantear una estrategia para extender la vida útil de las llantas, otro resultado importante que se debe tener en cuenta es el análisis de varianza donde la probabilidad de los coeficientes debe ser menor a 0,05 para que dichas variables sean estadísticamente significativas para el modelo.



El análisis recomienda que para que el modelo sea lo más ajustado y fiable posible tener un número significativo de resultados o datos, por lo anterior se tomaron el historial de 25 llantas, ya que en Cerro Matoso tenemos un promedio de consumo de 11 llantas al mes.

En el primer análisis realizado se tomó la variable horas de operación como variable dependiente y los resultados obtenidos fueron los detallados en las tablas 4 y 5, las figuras 18 y 19:

*Tabla 5. Resumen estadísticas de la regresión con la variable Horas de Operación como dependiente*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,938930281
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,881590073
R <sup>2</sup> ajustado	0,881307472
Error típico	396,6316218
Observaciones	841

*Tabla 6. Analisis de varianza con la variable Horas de Operación como dependiente*

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	981515740,6	490757870,3	3119,55467	0
Residuos	838	131831347,2	157316,6434		
Total	840	1113347088			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	4958,897859	215,3035387	23,03212427	2,5157E-91	4536,300314	5381,495404	4536,300314	5381,495404
Variable X 1	2,672408507	2,116749298	1,262505914	0,20711801	-1,482344646	6,82716166	-1,48234465	6,82716166
Variable X 2	-58,4208604	0,741086941	-78,83131811	0	-59,87546501	-56,9662558	-59,875465	-56,96625578

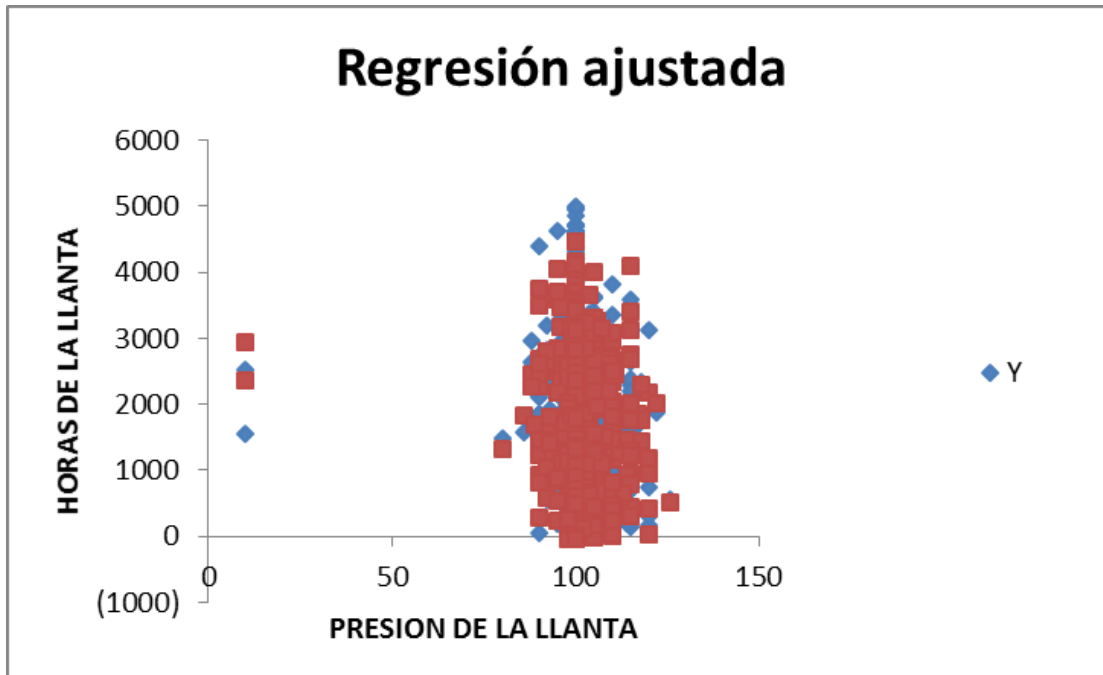


Figura 18. Grafica de dispersión Horas de operación Vs Presión de la llanta

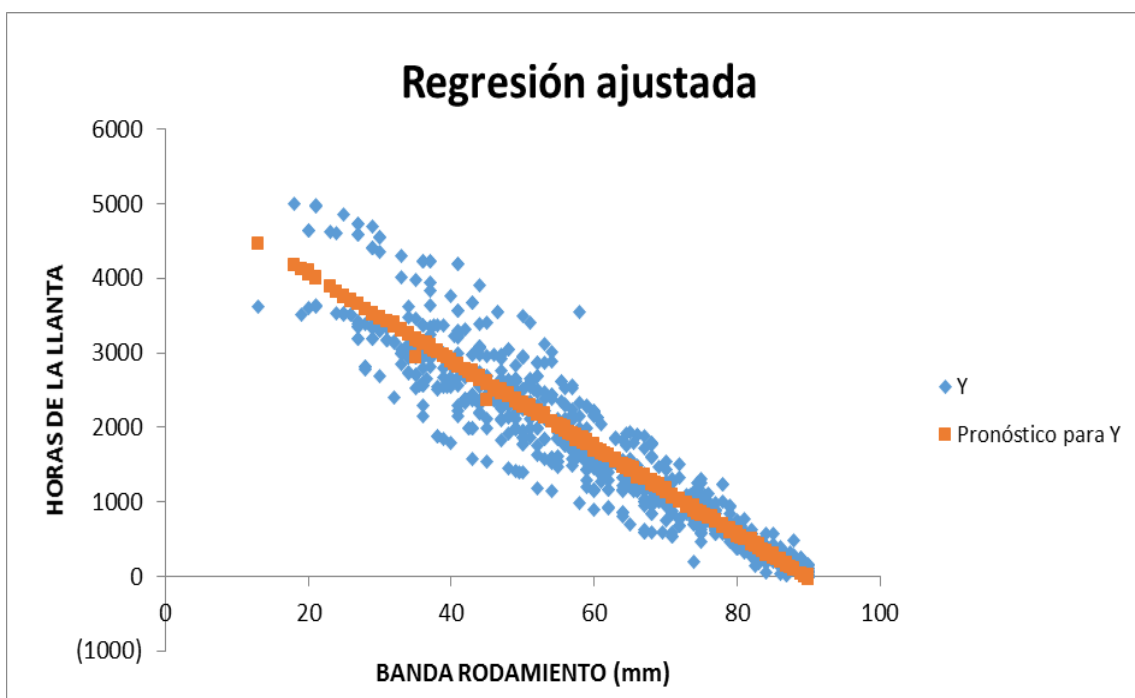


Figura 19. Gráfica de dispersión Horas de Operación Vs Banda de rodamiento

Estos resultados obtenidos indican que las horas de operación de una llanta dependen de la presión de la llantas y de la banda de rodamiento y tiene un grado de relación positivo y fuerte dado que los coeficientes se encuentran muy cercanos a 1, su grado de asociación es de un 88% y su probabilidad en el análisis de varianza está por debajo de 0,05 por lo tanto el modelo se ajusta bien a los datos, esto demuestra que existe una alta relación entre la variable de horas de operación y su dependencia de la presión de las llantas y la profundidad de la banda de rodamiento.

Para el segundo análisis se tomó la variable presión de las llantas como variable dependiente y los resultados fueron:

*Tabla 7. Resumen estadísticas de la regresión con la variable Presión de las llantas como dependiente*

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,09007017
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,00811264
R <sup>2</sup> ajustado	0,00574536
Error típico	6,46670826
Observaciones	841

*Tabla 8. Analisis de varianza con la variable Presión de las llantas como dependiente*

	Grados de libertad			cuadrado de los cua	F	valor crítico de F			
Regresión	2	286,622408	143,311204		3,42699608	0,03294034			
Residuos	838	35043,7486	41,8183157						
Total	840	35330,371							

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95,0%	Superior 95,0%
Intercepción	95,5977823	3,0359744	31,4883361	3,113E-144	89,6387752	101,556789	89,6387752	101,556789
Variable X 1	0,00071039	0,00056268	1,26250591	0,20711801	-0,00039404	0,00181481	-0,00039404	0,00181481
Variable X 2	0,0690741	0,03497053	1,97520886	0,04857224	0,00043398	0,13771422	0,00043398	0,13771422

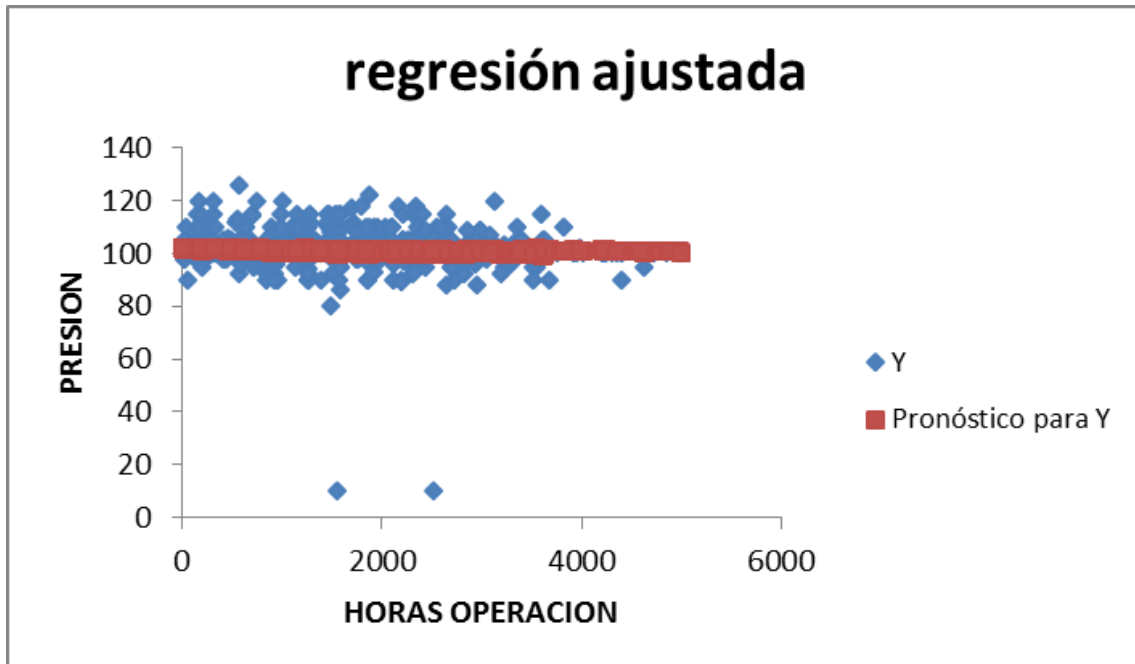


Figura 20. Gráfica de dispersión Presión Llantas Vs Horas de operación

Los resultados obtenidos muestran que la presión de las llantas no depende de ninguna de las otras dos variables su relación es positiva pero muy débil casi que nula por lo que sus coeficientes se encuentran muy cercanos a cero y su grado de asociación es de 0.5% a pesar de que su probabilidad está por debajo de 0.05, por lo que podemos concluir de este resultado que las horas de las llantas no influyen en la presión de la misma.

Todos los resultados permiten evidenciar que la presión de la llanta es la variable que influye de forma más significativa en las horas de operación y en la banda de rodamiento y permite que el modelo se ajuste con un alto grado a los datos del mismo, basados en esta información se refuerza la teoría del fabricante con respecto a las llantas,

ya que la vida útil depende en gran parte de que siempre se mantenga la presión adecuada y recomendada.

### ***Proyección de durabilidad***

Para el cálculo de la proyección de durabilidad fue necesario determinar el desgaste de las llantas teniendo en cuenta las condiciones de la mina de Cerro Matoso, estas condiciones incluyen las vías, el rango de presiones y las rutas de mantenimiento, el valor encontrado para las llantas XTRACTION B4 es 63Hr/mm como lo muestra la siguiente tabla:

*Tabla 9. Tasa de consumo de varios modelos de llantas*

<b>Modelo</b>	<b>Compuesto</b>	<b>Tasa desgaste</b>	<b>Prof Inicial</b>
XDR2B	B	50Hr/mm	92mm
XDR2CGT274	CGT274	43Hr/mm	80mm
XTRACTIONB4	B4	63Hr/mm	83mm
VMTPAZ2A	2A	60Hr/mm	74mm

Se tomó una muestra de 19 llantas y se encontró que el promedio de horas a las que llegaron las llantas fue de 3568 Hrs, ver figura 21, según la tasa de desgaste que se calculó con los datos históricos de desgastes de las llantas XTRACTION B4 y tomando como fin de ciclo 10 mm, es decir que las llantas se trabajarían hasta tener una altura de labrado de 10 mm, con estas premisas tenemos:

- Profundidad inicial: 83 mm
- Profundidad final: 10 mm
- Tasa de desgaste: 63 Hr/mm

- Altura de trabajo: Profundidad inicial – Profundidad final = 83 - 10 = 73 mm
- Proyección horas: Altura de trabajo\*Tasa de desgaste  
 $=73\text{mm} \cdot 63\text{Hr/mm} = 4,599\text{Hrs}$

Según los datos calculados para las llantas XTRACTION B4 bajo las condiciones de la mina y la tasa de desgaste que tienen las llantas, la proyección de una llanta debería ser aproximadamente 4,599 Hrs.

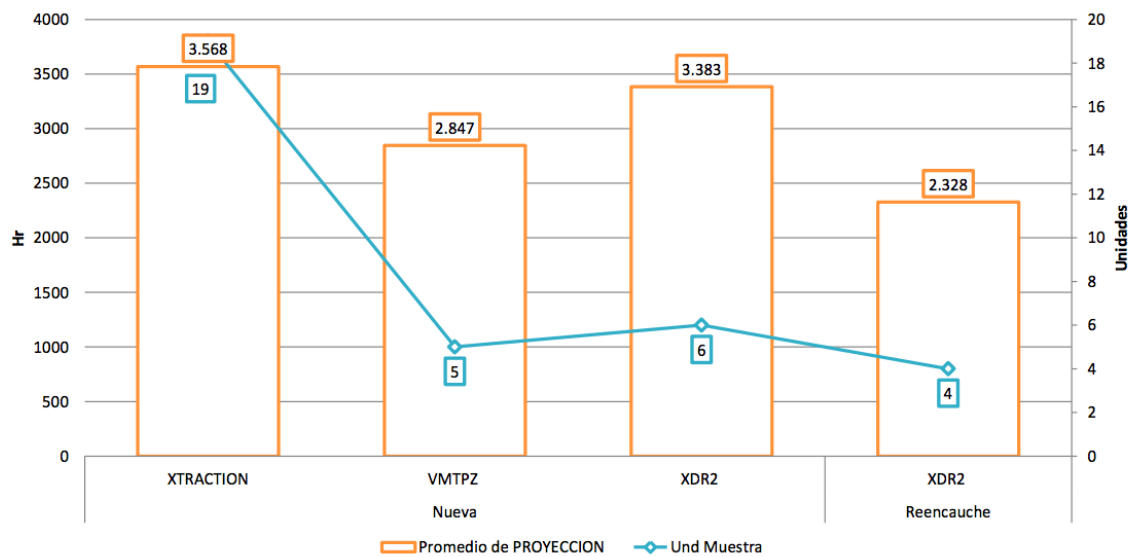


Figura 21. Proyección de rendimiento para varios modelos de llantas

**Calculo de los sobre costos asociados a los cambios prematuros de la llantas.**

Basados en la proyección calculada de 4,599 Hrs y un costo por llanta de \$34,154,474 millones de pesos, y tomando el promedio de horas reales podemos obtener el desperdicio en pesos por llantas

- Proyección de horas : 4,599 Hrs
- Promedio de horas de consumo: 3,568 Hrs
- Diferencia de horas : 4,599 Hrs – 3,568Hrs= 1,031Hrs
- Costo hora de trabajo:  $\$34,154,474 / 4,599\text{Hrs} = 7,426.5 \text{ \$/Hr}$
- Costos desperdicio por llanta:  $7,426.5 \text{ \$/Hr} * 1,031 \text{ Hr} = \$ 7,656,721.5$

Según el resultado anterior por cada llanta se están dejando de consumir en pesos \$7,656,721.5 en promedio. Al año se están consumiendo un promedio de 130 llantas lo que equivale en pesos \$995,373,795.



## **Diseño de la estrategia**

Basados en la teoría, en las asesorías, en las inspecciones de campo y los análisis de los resultados de las herramientas estadísticas de correlación y regresión múltiple realizados donde se determinó las variables que más afectan o influyen en la vida útil de las llantas se ha diseñado una estrategia alineada con la metodología utilizada por Cerro Matoso, esto lo que quiere decir es que fue necesario adherir a la estructura que existe de mantenimiento en la empresa todas las recomendaciones y resultados del estudio para poder incluir el trabajo que requiere hacerse con las llantas, teniendo en cuenta el recurso de mano de obra y de sistemas de información que posee la compañía.

La estrategia está enfocada al área de mantenimiento de la flota minera, sin embargo salieron acciones que serán incluidas en un modelo de cooperación que existe entre mantenimiento y operación que serán descritas en esta estrategia. La estrategia está dividida en varios pasos los cuales se describen uno a uno y como quedara diseñada la estrategia para cada caso.

Paso 1: En el análisis se evidencio que no se tiene un procedimiento escrito y normalizado de que se le debe hacer a las llantas en los Mantenimiento Preventivos.

Estrategia: Se tomó el procedimiento con código PMIMM637 el cual está normalizado en la compañía, ver Apéndice B, y se le incluyo la información referente a las llantas quedando de la siguiente manera.





Actividad 1: Revisar las tuercas y espárragos de las llantas de los equipos se encuentren en buen estado. Tiempo estimado 15 minutos.

Actividad 2: Tomar las presiones de las llantas. Deben estar en 100 PSI en frio y tomar el número del serial. Tiempo estimado 25 minutos.

Actividad 3: Verificar que las llantas no tengan piedras incrustadas en el labrado. Tiempo estimado 15 minutos.


Actividad 4: Inspeccionar la alineación de las llantas traseras y delanteras. Tiempo estimado 30 minutos.

*Tabla 10. Procedimiento para la inspección de llantas*

IT	FOTO-DIBUJO	ACTIVIDAD	ESTADO	CONDICIÓN	OBSERVACIONES	500 H	1000 H	1500 H	2000 H	2500 H	3000 H	3500 H	4000 H
2.35		<p><b>Llantas</b></p> <p>Revisar que las Turcas y Esparragos de las llantas de los equipos se encuentren en buen estado.</p> <p>Tiempo estimado 15 min.</p>				X	X	X	X	X	X	X	X
2.36		<p><b>Llantas</b></p> <p>Tomar las presiones de las llantas, deben estar en 100 PSI en frío y tomar el número del serial</p> <p>Tiempo estimado 25 min</p>				X	X	X	X	X	X	X	X
2.37		<p><b>Llantas</b></p> <p>Verificar que no tengan piedras incrustadas en el labrado</p> <p>Tiempo estimado 15 min</p>				X	X	X	X	X	X	X	X
2.38		<p><b>Llantas</b></p> <p>Inspeccionar la alineación de las llantas traseras y delanteras</p> <p>Tiempo estimado: 30 min</p>				X	X	X	X	X	X	X	X

MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECÁNICO Y S.S.I (CAMION 777G)

Esta página mostrada en la imagen anterior será agregada al procedimiento PMIMM637 – Mantenimiento Preventivo Mecánico Camiones CAT. Ver Anexo 1.

 <b>SOUTH32</b>										Cerro Matoso									
CODIGO:	PMIMM637			Rev.	2	FECHA:	2016-10-24			¿Esta tarea está relacionada con Un riesgo Material L4 o más?					SI	NO			
TIPO DE TAREA	Mecánica			X	Eléctrica		Instrumentación		Operación		Producción		Otra cual						
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECÁNICO Y S.S.I (CAMION 777G)																		
RESULTADO ESPERADO (Indique lo que espera obtener después de realizar una procedimiento)	Funcionamiento óptimo del equipo, con cero lesiones a personas y sin deterioro del medio ambiente.																		
ELEMENTOS PARA EL TRABAJO BIEN DISEÑADO (Selecciona los materiales, equipo, herramientas y condiciones del ambiente de trabajo, necesarios para realizar un trabajo seguro donde la ausencia de estos pueda materializarse el riesgo)																			
TIPO		DESCRIPCIÓN										SI	NO						
MATERIALES (código, descripción y cantidad)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trapo Cosido.</li> <li>• Pañol absorbente.</li> <li>• Aviso de equipo en prueba.</li> </ul>																	
EQUIPOS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos CAT (Camiones 777).</li> </ul>																	
HERRAMIENTAS (Indique las herramientas necesarias)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual de operación y mantenimiento SIS CAT.</li> <li>• Caja de herramientas dotación técnico Mecánico.</li> </ul>																	
AMBIENTE DE TRABAJO SEGURO (Indique las condiciones de seguridad que deben estar para realizar el trabajo o: Puntos de aislamiento, encerramientos, mediciones, barreras, señales)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo bloqueado con candado y tarjeta, usar los facilitadores para mantenimiento, buena iluminación.</li> </ul>																	
COMPETENCIAS REQUERIDAS		TE-02...Técnico Mecánico entrenado equipos CAT. HSE-21. Aislamiento, autorización operar equipos CAT.																	
<b>PROCEDIMIENTO : Mantenimiento Preventivo Mecánico Camiones CAT. (lista de tareas a realizar)</b>																			
Aplicativo general para realizar mantenimiento preventivo mecánico. <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bloqueo del equipo con candado y tarjeta.</li> <li>2. Realizar Mantenimiento Preventivo Mecánico.</li> <li>3. Limpieza y adecuación del área.</li> <li>4. Pruebas funcionales.</li> <li>5. Entrega del equipo operativo.</li> <li>6. Orden y aseo.</li> <li>7. Disposición final del componente usado.</li> <li>8. Notificación y confirmación del trabajo en SAP.</li> </ol>																			

*Figura 21. Procedimiento PMIMM637 – Mantenimiento Preventivo Mecánico Camiones CAT*

Paso 2: Cerro Matoso utiliza como sistema de información el SAP, en esta plataforma existe un módulo de mantenimiento en el cual están montados todos los planes de mantenimiento de la flota minera, cada equipo tiene su plan de mantenimiento y utiliza como contador las horas de operación de la máquina, los planes de mantenimiento preventivo para los camiones 777G se lanzan cada 500 horas.


Estrategia: Se debe crear en el sistema una operación adicional al Mantenimiento Preventivo llamada “work plan create” que se refiera a la inspección de las llantas que debe contener: Verificación de la alineación de las llantas, medición de presiones, medición de la profundidad del labrado y retiro de piedras y rocas. Todo esto debe ser

[illegible]

Paso 3: Como se mencionó en el paso anterior los camiones 777G se les hace Mantenimiento Preventivo cada 500 Hrs, lo que en el tiempo equivale aproximadamente a un mes según el promedio de horas que trabaja un camión diario en Cerro Matoso.

Según los resultados de los análisis estadísticos de regresión múltiple y el coeficiente de correlación se pudo concluir que la variable más influyente para extender el promedio de vida útil de las llantas hoy día en Cerro Matoso es la presión, como se pudo evidenciar en los datos de la tabla No.5 donde nos muestra un coeficiente de correlación del 93,8%, lo que significa que existe una dependencia alta entre estas variables, basados en estos resultados podemos tomar una decisión y es monitorear de forma más precisa y continua las presiones de las llantas y hacerlo en el campo y no esperar un mes a que vuelva el camión al taller o que en su defecto falle alguna llanta.

Estrategia: Se incluirá en el módulo de mantenimiento de SAP una estrategia que se lance semanalmente y debe contener: Inspección visual, toma de presiones, identificación de las llantas (tomar el serial de la llanta), correctivo inmediato en caso de ser necesario la orden de trabajo tendrá incluido el siguiente formato en el cual se depositara la información. Ver Apéndice D o figura 22.



**"PROYECTO DE LLANTAS CAMIONES 777G TNM"**  
**EXCELENCIA OPERACIONAL**  
**FORMATO DE RECOLECCION DE DATOS**

1 0 0 2

---

5 3 0 0 4 6

CAMIÓN  
FECHA

HOROMETRO  
N. TÉCNICO

LLANTAS								
POS	SERIE / TIPO	MEDIDAS EN mm.				TEMP FRIO	PRESION ENCONTRADA	HRS SAP
		MED 1	MED 2	MED 3	PROMEDIO			
No 1								
No 2								
No 3								
No 4								
No 5								
No 6								

COMENTARIOS

*Figura 22. Formato para inspección de llantas*

Para crear este plan de trabajo es necesario montar en SAP una operación en el formato de “work plan create” y quedara de la siguiente forma. Ver Apéndice C.

*Tabla 12. Formato de creación de planes de mantenimiento. Operación ISM RUT Mech Insp Tire Truck 777*

Work Plan		Action: Create		<div>Legend:<div><div></div>Mandatory Field</div><div><div></div>Optional Field</div><div><div></div>Conditional Field</div></div>								
Header					Scheduling Parameter					Additional Data		Item Assignment
Maintenance Plan	Maintenance Plan Description	Maintenance Plan Long Text	Strategy	Measuring Point	Shift Factor for Late Completion	Tolerance for Late Completion (%)	Shift Factor for Early Completion	Tolerance for Early Completion (%)	Call Horizon	Sort Field	Authorization Group	Maintenance Item
Sample Data: Provides an example to assist the Data Requestor in completing the Spreadsheet Template.												
SWP1	Service Proportioning System		TWKN01	50012393	100	0	100	0	100	SS01-030	SS01	20000706
SWP2	Service Drive		PHRN01						100	SS01-050	SS01	20000873
SWP3	Service Loader		TWKN01							SS01-050	SS01	200009341
Actual Data: Data Requestor populates the Spreadsheet Template from below this point (grey line) onwards.												
SWP1	ISM/RUT Mech Insp Tire Truck 777		PHRT03	50079332	100	0	100	0	100	S407-060	S407	SM12

Este formato se monta en SAP y se lanzara semanalmente todos los lunes, con una operación para la inspección de las llantas “ISM RUT Mech Insp Tire Truck 777”

Paso 4: En la introducción se explicó el procedimiento de rotación de llantas que se aplica en la compañía, sin embargo este procedimiento no es 100% efectivo ya que la información no se tiene actualizada en su totalidad y la frecuencia de actualización no es constante ni cíclica.

Estrategia: Para optimizar recurso se le planteó al superintendente de la unidad utilizar el técnico que hace la inspección en campo y que toma los datos de presión, profundidad y serial de las llantas de todos los camiones para que el mismo ingrese esa información al OperTrack semanalmente y una vez con esa información identifique que equipos están para rotación y realice los avisos en SAP para lanzar las ordenes de trabajo para las rotaciones de llantas que se evidenciaron.

Este proceso ya está fue socializado con planeación y se empezara a ejecutar una vez estén los planes en el sistema, donde ellos le darán tratamiento a los avisos para convertirlos en ordenes de trabajo.

Paso 5: Como se mencionando al inicio del diseño de la estrategia existe una parte que debe ser ejecutada por operación ya que los operadores influyen en la vida útil de las llantas por lo que este paso está basado en incluir en la bitácora de los camiones los aspectos más relevantes para tener en cuenta a la hora de realizar la inspección del equipo en lo que tiene que ver con las llantas, como en este momento ya existe un stock de bitácoras y no se les puede agregar la información se tomó la decisión de diseñar un



sticker y pegárselo a las bitácoras en la caratula donde sea visible para los operadores.

Esta información será socializada en todos los grupos, el sticker ya fue validado por mantenimiento y operación y quedara de la siguiente manera:



*Figura 23. Sticker para bitácoras. Inspección de llantas*

Paso 6: Un aspecto importante para poder garantizar la durabilidad de las llantas es el estado de las vías en la mina, si se tienen vías malas con muchos sobre tamaños las llantas sufren y se corre el riesgo de que ocurran cortes profundo e incluso las llantas se pueden estallar.

Estrategia: Se le planteara a planeación a corto plazo de operación que incluya en sus planes, el mantenimiento de las vías con los equipos de soporte pero se debe garantizar que sea una estrategia que se mantenga en el tiempo y no sea temporal.

## Capítulo 4

### Discusión de resultados

Como se demostró anteriormente en el desarrollo de la metodología empleada para llegar al diseño de la estrategia para extender la vida útil de las llantas de los camiones mineros CAT 777G usados en Cerro Matoso, actualmente los operadores o mantenedores de los camiones no están realizando una inspección o revisión adecuada de las llantas así como tampoco se están registrando de forma periódica las mediciones de control requeridas para garantizar que las llantas se encuentran en las mejores condiciones de presión, alineación, rotación y limpieza que ayuden a que la vida útil de las llantas sea mayor a lo que duran hoy día.

Los resultados tanto de la encuesta, ver tabla 3, como de las observaciones de tareas también muestran que aunque se haga una inspección y mantenimiento a las llantas estas no se están haciendo con la rigurosidad y prioridad que se requiere siendo las llantas una de las partes más importantes para garantizar la función final de los camiones que es el acarreo de mineral.

La compañía cuenta con un software llamado OperTrack con código fuente de propiedad de Michelin quien es el fabricante de las llantas donde es posible llevar un registro y control de distintas variables de las llantas como lo son presión, profundidad de la banda de rodamiento, horas de operación, rotaciones, ubicación en un camión y

trazabilidad de cambio de llanta a uno o más camiones dentro de su vida útil, que de aprovecharlo al máximo se lograría como mínimo con una buena disciplina operativa por parte de los supervisores y mantenedores tener control del consumo de las llantas y las posibles razones o causas de porque una llanta rindió por debajo de lo esperado de acuerdo con el fabricante o porque estuvo por encima o en el rango dado por el fabricante.

Mediante la recopilación de los datos del software OperTrack se encontró una alta relación entre lo que indicó la encuesta desarrollada a los grupos de Mantenimiento Mina en Cerro Matoso donde no hay inspección periódica y rigurosa. Al revisar los datos obtenidos del software se encontró que algunas llantas tenían muy pocos registros, así como datos incompletos o repetidos. También se logró evidenciar que los registros no tienen un patrón en las fechas y horas de los datos lo que indica que algunas mediciones se hacían en periodos donde el equipo estaba en caliente por lo que los datos registrados diferían notablemente de los tomados en frío, demostrando además que el registro de datos en el software solo se hace como un requisito y no con la consciencia de la importancia de contar con datos confiables.

Los resultados obtenidos del desarrollo del diagrama de Ishikawa, ver figura 17, muestran que las causas o condiciones de más impacto o influyentes en la reducción de la vida útil de las llantas están en la rama de mantenimiento entre las que se encuentran baja o alta presión de inflado, poca rotación de llantas, poca alineación de las llantas y baja

inspección de las llantas. Aunque son factores controlables, en la actualidad no se lleva un control estricto y periódico que garantice que estas condiciones óptimas de mantenimientos se cumplan en todo momento para maximizar la vida útil de las llantas.

Partiendo que se tienen una causas definidas como las más influyentes o determinantes para que una llanta cumpla con el tiempo de vida útil definido por el fabricante, y que se cuentan con los datos extraídos del OperTrack a los que se le aplicaron un análisis estadístico de regresión lineal múltiple se obtuvo que la presión de la llanta es la variable que influye de forma más significativa en las horas de operación y en la banda de rodamiento. Basados en estos resultados se confirma que la vida útil de las llantas depende en gran parte de que siempre se mantenga la presión adecuada y recomendada que es de 100 psi tal como lo indica el manual de Michelin para las llantas.

Bajo un muestreo de 19 llantas tipo XTRACTION B4 que son las que actualmente utilizan los camiones mineros en la mina de Cerro Matoso trabajan y basados en condiciones conocidas a través del tiempo como estado recurrente de las vías, el rango de presiones y las rutas de mantenimiento, el valor encontrado para las llantas XTRACTION B4 es de 63Hr/mm. Con este valor de desgaste de las llantas y conociendo cuanto es la altura de trabajo de la llanta tomando como referencia que cuando la llanta es nueva tiene 83mm de altura y lo mínimo a lo que puede llegar en operación es a 10mm se determinó que una llanta debería ser operar o rodar aproximadamente 4,599 Hrs. Por esta

razón podemos concluir que a las llantas se les puede aumentar un 22,4% su vida útil con respecto al promedio que se tiene hoy día de 3,568 Hrs.

Es inevitable hacer el cálculo para determinar en dinero cuanto se deja de aprovechar una llanta, es decir, cuánto dinero se paga por una llanta y dado el cambio prematuro cuanto se está desechando sabiendo que es posible tener una vida útil de las llantas de 4600 Hrs aproximadamente. Es así como se llegó al hecho de que en promedio se están dejando de consumir en pesos \$7,656,721.5, lo que equivale en el año a \$995,373,795 sabiendo que se están consumiendo un promedio de 130 llantas.

Con los resultados obtenidos del análisis estadístico se concluyó que existe una correlación inversa fuerte entre la banda de rodamiento y las horas de operación. Y de igual forma la regresión múltiple se evidenció que la presión es una variable independiente y altamente influyente en las variables de banda de rodamiento y horas de operación. Con esto podemos decir que la banda de rodamiento se afecta entre más horas de operación exista y para poder maximizar el consumo de la banda de rodamiento es necesario mantener la presión en el rango especificado por el fabricante de 100 psi en frío y 120 psi en caliente.

Por último se diseñó una estrategia de mantenimiento que busca incorporar dentro de las rutinas de trabajo actuales de los camiones CAT 777G operaciones y tareas dedicadas única y exclusivamente a las llantas con el fin de garantizar las mejores condiciones de

operación y así poder lograr apuntar a un aumento muy significativo de las horas de rodamiento de las llantas. Dentro de la estrategia se proponen inspecciones rutinarias de las llantas de acuerdo con la misma frecuencia en que los camiones entran al taller, inspecciones rutinarias semanales para garantizar en todo momento un control estricto del desgaste de las llantas para las alineaciones, presiones, necesidades de limpieza y rotaciones, se establece una disciplina operativa para el registro de los datos tomados en el software OperTrack para los operadores y mantenedores, y un involucramiento al grupo de operación de la mina para garantizar siempre las mejores condiciones en las vías. Dados todos estos hallazgos y propuestas planteadas es posible aumentar el promedio de la vida útil de las llantas. El que existan llantas cercanas a los valores proyectados indica que es posible lograr que la mayoría de las llantas alcance su máxima durabilidad.

## **Capítulo 5**

### **Conclusiones y recomendaciones**

El desarrollo del trabajo de grado realizado permite concluir lo siguiente:

Las fallas más recurrentes en la disminución de la vida útil de las llantas usadas en los camiones CAT 777G las cuales son falta de rotación de las llantas, falta de inflado de las llantas, poco mantenimiento de las llantas para retirar objetos extraños y falta de alineación de las llantas. Todas estas fallas son controlables con una buena organización de los tiempos en que se deben realizar y una oportuna identificación de estas, lo que se logra mediante inspecciones rutinarias y realizando los mantenimientos preventivos de las llantas.

Si la presión es insuficiente en un 10% reduce la duración de la llanta en un 10%, si la presión es insuficiente en un 20% se reduce la duración de la llanta en un 25% y si la presión es insuficiente en un 30% se reduce la duración de la llanta hasta en un 50% su vida útil. La falta de alineación y rotación de las llantas afecta también la vida útil ya que esta comenzara a tener un desgaste irregular en su banda de rodamiento y de esta forma se acelerara su reemplazo. Y la falta de limpieza de las llantas es una causa importante de deterioro prematuro ya que al no quitar las piedras incrustadas, clavos, piezas metálicas y demás objetos que puedan quedar incrustados en las llantas hacen que estas se empiecen a quebrar o perder parte de los bizcochos haciendo que estos desgastes se empeoren con

el rodamiento de los equipos y por lo tanto la llanta deba ser reemplazada rápidamente, lo que hoy día es muy frecuente de acuerdo los registros de mantenimiento de los motivos de cambio de llantas.

Del análisis estadístico desarrollado, las respuestas entregadas por los operadores y supervisores, la observaciones de tarea realizadas en el área de trabajo y con el conocimiento de los datos que se pueden registrar en OperTrack se pueden concluir que si se cuenta desde el principio del rodamiento de las llantas con buenas prácticas y disciplina operativa para realizar una inspección detallada de las llantas y se registran oportunamente en el software se pueden prever necesidades de mantenimiento de las llantas como la rotación, alineación, desgastes de la banda, objetos extraños, presión e integridad de las llantas.

El tomar acción después de los hallazgos encontrados en una inspección es fundamental para garantizar un aumento en la vida útil de las llantas dado que se estaría operando el camión con las mejores condiciones posibles según sea el caso de cada llanta y por consiguiente se lograría una reducción en la cantidad de repuestos necesarios en inventario generado ahorros para la compañía. Es muy importante tomar consciencia por todo el grupo de trabajo que interviene en Mantenimiento Mina de que se puede contribuir con el ahorro de gastos operativos que exige la compañía desde una inspección y mantenimiento riguroso a las llantas.



Es importante notar que con las condiciones que tenemos hoy en día en la mina y con lo poco que se está haciendo de forma preventiva para mantener las llantas estamos alcanzando un promedio de vida de 3,568 horas, promedio que a pesar de no ser malo aún podemos aprovechar más vida útil de la llanta y de esta forma dejar de desperdiciar dinero a la compañía, también, se sabe que con esas condiciones y aplicando una estrategia de mantenimiento preventivo podemos llevar nuestras llantas hasta una vida útil de 4,599 horas con lo que lograríamos recuperar un promedio de \$7,656,721.5, lo que equivale en el año a \$995,373,795.

La estrategia que se utilizara, será una estrategia preventiva que lograra minimizar los riesgos de desgastes prematuros, los cortes y estallidos de las llantas, esta estrategia está enfocada en su mayoría al área de Mantenimiento de Mina y con un aporte no menos importante del área de operación, que básicamente se concentra en hacerle un seguimiento a las llantas en todos los mantenimientos preventivos de los camiones y una revisión semanal en campo de monitoreo y se tomaran acciones inmediatas según sea la necesidad. La estrategia está alineada con la estructura de Cerro Matoso, ya que se utilizara el sistema de información que existe hoy en día y se tuvo en cuenta el recurso disponible para implementar dicha estrategia.

La estrategia consiste en incluir en el módulo de mantenimiento de SAP las tareas que se lanzaran de forma sistemática que incluyen las diferentes inspecciones de las llantas, la forma de cómo hacerle seguimiento y que el área de operación se vincule a la

estrategia con la socialización y concientización de los operadores para que se preocupen por inspeccionar e informar el estados de las llantas, además, de mantener el estado de las vías.

Trabajo futuros pueden considerar:

Proyecto verificar la viabilidad de crear un área o grupo de trabajo que se dedique a la recuperación de llantas mediante el proceso industrial de reencauche para proporcionar una segunda vida.

O la implementación de un proyecto para la disposición final de las llantas luego de cumplir su vida útil. Este proyecto podría incluir la reutilización de las llantas como insumo para la pavimentación de carreteras o extracción de subproductos como acero, caucho y aceites para una nueva línea de negocio.

## **Bibliografía**

AutoMundial. 2016. Informe de gestión Septiembre / 2016 Mina de Ferroníquel

Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. 2009. Herramientas para la mejora de la calidad.  
Montevideo Uruguay, UNIT.

Jiménez González, Raúl. 2012. Estadística Inferencial II. Ensenada Baja California,

Michelin. 2004. Guía de mantenimiento de los neumáticos obras públicas y minería. pp  
42-84. Francia. Recuperado de <http://www.michelingeniecivil.com/>

Michelin. 2012. Guía de mantenimiento de los neumáticos de ingeniería civil. pp 56-82.  
Francia. Recuperado de  
[http://www.michelinearthmover.com/es\\_la/Bienvenido/Neumaticos/Consejos-  
Michelin/Guia-de-Utilizacion-y-Mantenimiento-GUM](http://www.michelinearthmover.com/es_la/Bienvenido/Neumaticos/Consejos-Michelin/Guia-de-Utilizacion-y-Mantenimiento-GUM)

Michelin. 2013-2014. MICHELIN Technical Data Earthmover tyres. pp 15-21. Edición  
No. 29 Francia. Recuperado de: <http://www.michelinearthmover.com>

Michelin. 2012-2016. MICHELIN Tyre Pressure Monitoring System (TPMS): MEMS  
Evolution3. Recuperado de

[http://www.michelinearthmover.com/es\\_la/Bienvenido/Servicios/MICHELIN-Tyre-Pressure-Monitoring-System-TPMS-MEMS-Evolution3](http://www.michelinearthmover.com/es_la/Bienvenido/Servicios/MICHELIN-Tyre-Pressure-Monitoring-System-TPMS-MEMS-Evolution3)


Moubray, J., (2004), Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. North Carolina, USA: Aladon LLC.

Renove Tecnología S.L. 2009-2016. Tipos de Mantenimiento. Recuperado de <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>

Salazar, B., (2016). Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF). Recuperado de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/lean-manufacturing/analisis-del-modo-y-efecto-de-fallas-amef/>

## Anexos

### Anexo 1: Procedimiento PMIMM637 – Mantenimiento Preventivo Mecánico Camiones CAT.

 <span style="font-size: 2em; font-weight: bold;">Cerro Matoso</span>									
CODIGO:	PMIMM637	Rev.	2	FECHA:	2016-10-24	¿Esta tarea está relacionada con Un riesgo Material L4 o más?		SI	NO
TIPO DE TAREA	Mecánica	X	Eléctrica		Instrumentación		Operación	Producción	Otra cual
DESCRIPCIÓN DE LA TAREA		MANTENIMIENTO PREVENTIVO MECÁNICO Y S.S.J (CAMION 777G)							
RESULTADO ESPERADO (Indique lo que espera obtener después de aplicar este procedimiento)		Funcionamiento óptimo del equipo, con cero lesiones a personas y sin deterioro del medio ambiente.							
ELEMENTOS PARA EL TRABAJO BIEN DISEÑADO (relacione los materiales, equipos, herramientas y condiciones del ambiente de trabajo; necesarios para realizar un trabajo seguro donde la ausencia de estos pueda materializarse el riesgo)									
TIPO		DESCRIPCION					SI	NO	
MATERIALES (código, descripción y cantidad)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trapo Cosido.</li> <li>• Pañol absorbente.</li> <li>• Aviso de equipo en prueba.</li> </ul>							
EQUIPOS		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos CAT (Camiones 777).</li> </ul>							
HERRAMIENTAS (incluya las herramientas necesarias)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual de operación y mantenimiento SIS CAT.</li> <li>• Caja de herramientas dotación técnico Mecánico.</li> </ul>							
AMBIENTE DE TRABAJO SEGURO (incluya las condiciones de seguridad que deben existir para realizar el trabajo ej. puntos de aislamiento, encerramientos, mediciones, barreras, señales)		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo bloqueado con candado y tarjeta, usar los facilitadores para mantenimiento, buena iluminación.</li> </ul>							
COMPETENCIAS REQUERIDAS				TE-02....Técnico Mecánico entrenado equipos CAT. HSE-21. Aislamiento, autorización operar equipos CAT.					
PROCEDIMIENTO : Mantenimiento Preventivo Mecánico Camiones CAT. (lista de tareas a realizar)									
<p>Aplicativo general para realizar mantenimiento preventivo mecánico.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bloqueo del equipo con candado y tarjeta.</li> <li>2. Realizar Mantenimiento Preventivo Mecánico.</li> <li>3. Limpieza y adecuación del área.</li> <li>4. Pruebas funcionales.</li> <li>5. Entrega del equipo operativo.</li> <li>6. Orden y aseo.</li> <li>7. Disposición final del componente usado.</li> <li>8. Notificación y confirmación del trabajo en SAP.</li> </ol>									

## Apéndice A

### ENCUESTA PARA OPERADORES CAMIONES MINEROS




1. Usted realiza inspección al camión antes de iniciar la operación Si\_\_\_ No\_\_\_
2. Lo hace utilizando un check list existente de inspección de la maquina Si\_\_\_ No\_\_\_
3. En la inspección que le realiza al equipo inspecciona las llantas Si\_\_\_ No\_\_\_
4. Si en la inspección a las llantas si encuentra alguna condición la reporta inmediatamente Si\_\_\_ No\_\_\_
5. Cuando en la inspección de las llantas evidencian piedras o rocas incrustadas en el labrado de las llantas las retira Si\_\_\_ No\_\_\_
6. Mientras está operando el camión tiene precaución de los sobre tamaños que se encuentran en las vías Si\_\_\_ No\_\_\_

Resultados:

ENTREVISTADOS	PREGUNTAS											
	1		2		3		4		5		6	
	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO	SI	NO
1	X			X		X		X		X		X
2	X			X		X		X		X		X
3	X			X		X		X		X		X
4	X			X		X		X		X		X
5	X			X		X		X		X		X
6	X			X		X		X		X		X
7	X			X		X		X		X		X
8	X			X		X		X		X		X
9	X			X		X		X		X		X
10	X			X		X		X		X		X
11	X			X		X		X		X		X
12	X			X		X		X		X		X
13	X			X		X		X		X		X
14	X			X		X		X		X		X
15	X			X		X		X		X		X
16	X			X		X		X		X		X
17	X			X		X		X		X		X
18	X			X		X		X		X		X
19	X			X		X		X		X		X
20	X			X		X		X		X		X
21	X			X		X		X		X		X
22	X			X		X		X		X		X
23	X			X		X		X		X		X
24	X			X		X		X		X		X
<b>TOTALES</b>	<b>24</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>24</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	

## Apéndice B

### PROCEDIMIENTO PARA LA INSPECCIÓN DE LLANTAS

IT	FOTO-DIBUJO	ACTIVIDAD	ESTADO	CRITICIDAD	OBSERVACIONES	500 H	1000 H	1500 H	2000 H	2500 H	3000 H	3500 H	4000 H
2.33		<p><b>Llantas</b></p> <p>Revisar que las Turcas y Esparragos de las llantas de los equipos se encuentren en buen estado.</p> <p>Tiempo estimado 15 min.</p>				X	X	X	X	X	X	X	X
2.34		<p><b>Llantas</b></p> <p>Tomar las presiones de las llantas, deben estar 100 PSI en frio y tomar el numero del serial.</p> <p>Tiempo estimado 25 min.</p>				X	X	X	X	X	X	X	X
2.35		<p><b>Llantas</b></p> <p>Verificar que no tengan piedras incrustadas en el labrado.</p> <p>Tiempo estimado 15 min.</p>				X	X	X	X	X	X	X	X
2.36		<p><b>Llantas</b></p> <p>Inspeccionar la alineación de las llantas traseras y delanteras</p> <p>Tiempo estimado: 30 min</p>				X	X	X	X	X	X	X	X

## Apéndice C

## FORMATO WORK PLAN CREATE

[illegible]



## Apéndice D

## FORMATO PARA EL REGISTRO DE LA INSPECCIÓN DE LLANTAS

"PROYECTO DE LLANTAS CAMIONES 777G TNM"

EXCELENCIA OPERACIONAL

## FORMATO DE RECOLECCION DE DATOS

1	2		
		3	4

CAMIÓN	
FECHA	

HOROMETRO	
N. TÉCNICO	

## LLANTAS

SERIE / TIPO	MEDIDAS EN mm.			TEMP	PRESIÓN
	MED 1	MED 2	MED 3		
COMENTARIOS					